

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA



FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

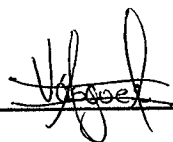
**“CAMBIOS ESTACIONALES EN LA ESTRUCTURA DE TALLAS Y
COMPOSICIÓN ESPECÍFICA DE LA COMUNIDAD DE MESOZOOPLANCTON
DEL NORTE Y CENTRO DEL PERÚ, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES
DIGITALES”**

Br. REYES VÁSQUEZ BRENDA YSABEL

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE BIÓLOGO

PIURA – PERÚ

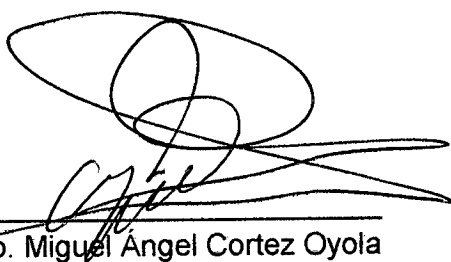
2014



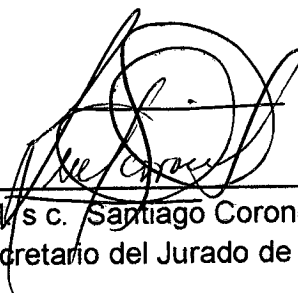
Br. Brenda Ysabel Reyes Vásquez
Ejecutor de Tesis



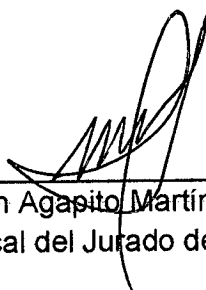
Blgo. M. s c. Ronald Marcial Ramos
Docente de la Universidad Nacional de Piura
Asesor de Tesis



Blgo. Miguel Ángel Cortez Oyola
Presidente del Jurado de Tesis



Blgo. M/s c. Santiago Coronel Chávez
Secretario del Jurado de Tesis



Blgo. Juan Agapito Martínez Mendoza
Vocal del Jurado de Tesis

DEDICATORIA

A mi hermana menor Ana Gabriela que está próxima a iniciar su carrera universitaria.

Y a mis pequeñas sobrinas Dayra, Camila y el pequeño Thiago, que inspiran y llenan de ternura cada día de mi vida

AGRADECIMIENTOS

A Dios por no dejarme vencer, y darme las fuerzas necesarias para culminar este proyecto.

A la Blga. Patricia Ayón, por la oportunidad de realizar mi proyecto de tesis en el laboratorio de producción secundaria del IMARPE y al INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT (IRD) por el financiamiento para su realización.

Al Blgo. Ronald Marcial por direccionar mi carrera en el zooplancton al motivarme a realizar esta tesis.

A mi madre que con su sacrificio, esfuerzo y sobre todo amor; me impulsa a seguir adelante.

A mi hermana mayor Lorena por su amistad, apoyo y comprensión durante todos los años de mi carrera universitaria, y hasta hoy que cada día se preocupa por mi bienestar.

A Víctor Bárcena por su apoyo incondicional desde el inicio de este proyecto y a Juan Carlos por su López comprensión y servicio.

A los Blgos. Kattia Arones, Jonathan Correa, Elda Pinedo, Carmela Nakazaki y Roberto Quesquén, por sus enseñanzas, motivación, confianza

INDICE

RESUMEN.....	7
I.- INTRODUCCIÓN.....	9
II.- MATERIAL Y METODOS	
2.1.- Área de estudio.....	17
2.2.- Metodología.....	18
2.2.1.- Diseño de muestreo.....	18
2.2.2.- Trabajo en campo.....	19
2.2.2.1.- Colecta de muestras biológicas.....	19
2.2.2.2.- Toma de parámetros oceanográficos.....	19
2.2.3.- Trabajo de gabinete.....	20
2.2.3.1 Fraccionamiento de las muestras.....	20
2.2.3.2 Instalación del ZooScan.....	20
2.2.3.3 Digitalización de las muestras.....	21
2.2.3.4 Procesamiento de las imágenes.....	22
2.2.3.5 Construcción de la base de datos.....	22
2.2.3.5.1.- Conversión de pixeles a micrómetros.....	23
2.2.3.5.2.- Cálculo del Biovolumen elipsoidal (Ebv).....	23

2.2.3.5.3.- Cálculo de la abundancia: organismos/m ³	24
2.2.3.5.4.- Cálculo de Biovolumen total.....	24
2.2.3.5.5 Construcción del espectro de tamaños.....	24
2.2.3.5.6 Normalización del biovolumen.....	25
2.2.3.5.7 Pendiente lineal y SCI.....	26
2.2.3.5.8 Análisis estadístico.....	28
III.- RESULTADOS.....	29
3.1.- Composición específica.....	29
3.2.- Espectros de tamaños de biovolumen normalizado.....	32
IV.- DISCUSIÓN.....	47
V.- CONCLUSIONES.....	62
VI.- RECOMENDACIONES.....	63
VI. - REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	64
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Número de muestras colectadas en cada crucero.
- Tabla 2.** Composición específica del mesozooplankton en el centro y norte del mar peruano.
- Tabla 3.** Distribución estacional de las pendientes, coeficientes de regresión e interceptos de las funciones lineales que fijan los espectros de tamaños de biovolumen normalizado del mesozooplankton por periodo en el norte y centro del Perú
- Tabla 4.** Valores promedio de las pendientes, coeficientes de regresión e interceptos de las funciones lineales que fijan los espectros de tamaños de biovolumen normalizado del mesozooplankton en relación a la latitud geográfica.
- Tabla 5.** Valores promedio de las pendientes, coeficientes de regresión e interceptos de las funciones lineales que fijan los espectros de tamaños de biovolumen normalizado del mesozooplankton en relación a la distancia de la costa
- Tabla 6.** ANOVA de una vía para examinar la influencia de las variables periodo, latitud y distancia a la costa en la abundancia y parámetros (pendiente, intercepto y SCI) del espectro de tamaños del mesozooplankton en el norte y centro del Perú.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig.1.** Distribución de perfiles y estaciones de muestreo en la zona centro y norte del mar peruano, entre primavera 2008 e invierno 2009.
- Fig.2.** Abundancia relativa de especies de los principales grupos del mesozooplancton en el norte y centro del mar peruano durante los cruceros Cr0811-12, Cr0902-04, Cr0906-07, Cr0908-09 realizados por IMARPE entre noviembre del 2008 y setiembre del 2009.
- Fig.3.** Espectro de tamaños normalizado del mesozooplancton obtenido en el norte y centro del litoral peruano. Data incluye los muestreos en primavera 2008, verano, otoño e invierno del 2009 realizados por IMARPE.
- Fig.4.** Espectros de tamaños de biovolumen normalizado de las 94 estaciones muestreadas en el norte y centro del Perú. Espectros están ordenados de acuerdo a la estación en la que el muestreo se llevó a cabo.
- Fig.5.** Espectro general de tamaños de biovolumen normalizado del mesozooplancton en el norte y centro del litoral peruano. Data incluye los monitoreos en primavera 2008, verano, otoño e invierno del 2009. Regresión lineal fue significativa ($P < 0,01$).
- Fig.6.** Distribución temporal de biovolúmenes promedio en el norte y centro del Perú. Los cuadrados encerrados reflejan altas densidades en clases de tamaño mayores para el verano del 2009.
- Fig.7.** Variación temporal de los espectros de biovolumen normalizados de mesozooplancton en el norte y centro del litoral peruano. Todas las regresiones lineales fueron significativas ($P < 0,001$)

Fig.8. a) Densidad y b) SCI vs. Pendientes del norte y centro del Perú entre 2008 y 2009. La densidad, SCI y pendientes para cada periodo fueron promediadas.

Fig.9. Variación temporal de las pendientes de los espectros de tamaños por perfiles oceanográficos: PT Paita, PN Punta La Negra, ML Malabrigo, CHI Chimbote y CAL Callao. En cada perfil las pendientes fueron promediadas. No hay data del perfil Callao en otoño.

Fig.10. Variación temporal de la abundancia por perfiles oceanográficos: PT Paita, PN Punta La Negra, ML Malabrigo, CHI Chimbote y CAL Callao. En cada perfil las abundancias fueron promediadas. No hay data del perfil Callao en otoño.

Fig.11. Variación temporal del Índice de clases de tamaños (SCI) por perfiles oceanográficos: PT Paita, PN Punta La Negra, ML Malabrigo, CHI Chimbote y CAL Callao. En cada perfil los SCI fueron promediados. No hay data del perfil Callao en otoño

Fig.12. a) Densidad y b) SCI vs. Pendientes en relación a la latitud entre 2008 y 2009. La densidad, SCI y pendientes para cada periodo fueron promediadas.

Fig.13. a) Densidad y b) SCI vs. Pendientes en relación a la distancia a la costa entre 2008 y 2009. La densidad, SCI y pendientes para cada periodo fueron promediadas.

RESUMEN

“CAMBIOS ESTACIONALES EN LA ESTRUCTURA DE TALLAS Y COMPOSICIÓN ESPECÍFICA DE LA COMUNIDAD DE MESOZOOPLANCTON DEL NORTE Y CENTRO DEL PERÚ, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES DIGITALES”

Con el objetivo de determinar la composición específica del mesozooplankton y evaluar los cambios estacionales en la estructura de tamaños basados en imágenes digitales, se analizaron muestras de red de 200 μm procedentes de 94 estaciones distribuidas en cinco perfiles a lo largo del norte y centro del mar peruano: Paita, Punta La Negra, Malabrigo, Chimbote y Callao. Las muestras fueron colectadas por cruceros de Investigación realizados por el Instituto Del Mar Peruano (IMARPE) entre noviembre del 2008 y setiembre del 2009 abarcando los cuatro periodos climáticos y la zona oceánica - costera. En laboratorio, las muestras fueron escaneadas en el equipo Zooscan y analizadas por el software ZooProcess, el cual proporcionó medidas de la abundancia y la talla de los organismos en estudio lo que permitió la clasificación de esta comunidad en base al tamaño y comparar distintos patrones en el espacio y cambios estacionales en un periodo anual. La comunidad del mesozooplankton del norte y centro del Perú fue diversa. La clase Copepoda presentó el mayor número de especies (70% del total). Se evidenció una marcada estacionalidad en la estructura de tamaños del mesozooplankton al obtener diferencias significativas entre las pendientes de las cuatro estaciones. Verano e invierno mostraron un patrón de tallas significativamente diferente al resto de estaciones, exhibiendo las pendientes más positivas y negativas del estudio, respectivamente. Para la zona oceánica – costera también fue evidente una marcada diferencia entre los espectros de tallas. Las estaciones oceánicas mostraron los espectros menos empinados en todo el estudio. Por otro lado, los espectros de tamaño tanto de la zona norte como de la zona centro del mar peruano no difirieron significativamente, sin embargo, las pendientes de la zona norte fueron más positivas. Este patrón, de pendientes más positivas en la zona norte y en las estaciones oceánicas indicaría presencia de tallas mayores, ya sea por la incursión de nuevas especies con tallas grandes o de estadios más desarrollados. Por lo tanto, habrá una distribución de tamaños más uniforme dentro de esas comunidades.

Palabras claves: Océano Pacífico, mesozooplankton, pendiente, Zooprocess.

ABSTRACT

“SEASONAL CHANGES IN SIZE STRUCTURES AND SPECIFIC COMPOSITION OF THE MESOZOOPLANKTON COMMUNITY IN THE NORTH AND CENTER OF PERU, THROUGH THE ANALYSIS OF DIGITAL IMAGES”

With the aim of determining the specific composition of the mesozooplankton and of assessing seasonal changes in the structure based on digital images, we analyzed net samples of 200 μm proceeding from 94 seasons distributed in five profiles along the northern and central Peruvian sea line: Paita, Punta La Negra, Malabrigo, Chimbote and Callao. Samples were collected by Research Cruises conducted by the Institute of Peruvian Sea (IMARPE) between November of 2008 and September of 2009 covering the four climatic periods and the oceanic-coastal area. At the laboratory, samples were scanned in the Zooscan equipment and analyzed by the ZooProcess software, which provided measurements related to the abundance and the size of organisms in the study which allows for the classification of this community in terms of size and for comparing different pattern in space and in seasonal changes on an annual period. The community of mesozooplankton from the Peruvian north and center was diverse. The Copepoda type presented the highest number of species (70% of the total). We witnessed a marked seasonality in the structure of sizes of mesozooplankton by obtaining significant differences among the slopes of the four seasons. Summer and winter showed a size pattern significantly different from the other seasons, exhibiting the most positive and negative slopes in the study, respectively. For the oceanic - coastal zone it was also evident a marked difference among the size spectrums. Oceanic seasons showed the less steep spectrums in the whole study. On the other hand, size spectrums both for the northern areas as for the central area of the Peruvian sea did not show a significant difference, nonetheless, slopes in the northern area were more positive. This patten, of more positive slopes in the northern area and in oceanic seasons would indicate the presence of greater sizes, whether by the incursion of new species with big sizes or of more developed stages. Therefore, there will be a more uniform distribution of sizes inside those communities.

Key words: Pacific Ocean, mesozooplankton, slope, Zooproccess.

I. INTRODUCCIÓN

La productividad de una comunidad planctónica está aparentemente determinada por las tasas de crecimiento corporal y el cambio en su abundancia, que a su vez están determinadas por la disponibilidad de alimentos y las relaciones tróficas, definiéndose así como la estructura de la comunidad (Zhou, 2005). Siendo la distribución del tamaño un índice global teóricamente relacionado con la capacidad de producción del ecosistema (Platt y Denman, 1977; Heath, 1995; Zhou y Huntley, 1997), los primeros modelos teóricos fueron propuestos por Kerr (1974); Sheldon, Sutcliffe y Paranajape (1977) y, Platt y Denman (1977, 1978).

Considerando que los dos primeros modelos se basan en el concepto de nivel trófico, el último consiste en un flujo continuo de energía que va desde organismos pequeños a organismos grandes. Los modelos de Kerr y Sheldon proponen que la biomasa es constante cuando los organismos están organizados en clases de tamaño logarítmico. Por otro lado, el modelo de Platt y Denman predice una leve disminución de la biomasa con el tamaño de los organismos y propone una estructura alométrica para los ecosistemas pelágicos (Platt y Denman, 1978). La prueba empírica más completa de los modelos teóricos globales es la de Rodríguez y Mullin (1986); su estudio se llevó a cabo en aguas oligotróficas del giro central del Pacífico Norte y cubrió un rango de tamaños desde picoflagelados a grandes eufásidos del macrozooplancton. Sus resultados concordaron con las predicciones

del modelo de Platt y Denman (Platt y Denman, 1978) ya que la biomasa disminuyó alométricamente con el tamaño del organismo dentro del ecosistema.

Uno de los enfoques para evaluar el impacto de la perturbación ambiental sobre el zooplancton es el análisis de la estructura de tallas de sus comunidades, sobre la base de que el tamaño de los organismos es una propiedad ecológica clave de toda comunidad biológica (Peters, 1983; Calder, 1984; Rodríguez, 2004; While *et al.*, 2007). Dos de las más importantes ventajas en el uso de la clasificación basada en el tamaño son: permitir el uso de las matemáticas avanzadas para la expresión de los procesos de la población (Platt y Denman, 1978; Silvert y Platt 1978; Heath; 1995; Zhou y Hunthey, 1997; Edvardsen *et al.*, 2002;) y permitir el uso de instrumentos de recuento automatizado para medir el plancton in situ (Hernan, 1988; Heath *et al.*, 1995; Hernan *et al.*, 2004).

El análisis de la distribución de biomasa por tamaño es un enfoque no taxonómico que se emplea para estudiar la estructura y función del ecosistema (Platt, 1985; Quinones, 1994; Rodríguez, 1994) y donde los flujos de energía dentro de estos sistemas van a determinar la forma del espectro de la biomasa (Platt y Denman, 1978). Heath (1995) caracterizó el flujo de energía como un equilibrio entre el crecimiento individual y la mortalidad de la población. Zhou y Huntley (1997) unificaron enfoques y desarrollaron una teoría matemática sobre la dinámica de la población que describiera el flujo de energía a través del espectro de biomasa

basado en la función de distribución de la abundancia y la ley de la conservación de la masa. Se sabe que el plancton juega un papel importante en el flujo de carbono en el océano y es uno de los principales mecanismos para la transferencia de carbono de la atmósfera a las aguas superficiales y finalmente a las profundidades del océano (Legenche y Le Fèvre, 1989; Roy *et al.*, 2000; Legendre y Rivkin, 2002; Grosjean *et al.*, 2004; Manríquez *et al.*, 2009).

Actualmente, el análisis de imágenes es una buena alternativa frente al tratamiento tradicional y manual de muestras de plancton (Jefferies *et al.*, 1984; Rolke y Lenz, 1984; Gorski *et al.*, 1989; Steiclinger *et al.*, 1990; Tang *et al.*, 1998). En este contexto, con el desarrollo de nuevas tecnologías que puedan aportar datos rápidos, imparciales y cuantitativos sobre el zooplancton es posible que avance significativamente nuestro conocimiento en los aspectos comunitarios de este grupo (Benfield *et al.*, 2007). Un punto que merece atención es el análisis retrospectivo de muestras históricas, en particular el estudio de series de tiempo. Análisis más detallado de estas series tienden a proporcionar una mejor interpretación de los cambios a largo plazo de los ecosistemas (Grosjean *et al.*, 2004).

El desarrollo de nuevas tecnologías que permitan el recuento y mediciones automáticas de las partículas suspendidas en el medio líquido, así como el análisis de imágenes digitales de muestras mediante programas computacionales, han contribuido fuertemente a promover las ventajas estructurales que ofrecen las comunidades zooplanctónicas (Parsons, 1969; Díaz, 2009). Margalef (1991)

identifica otro factor en el éxito de este tipo de tecnologías: la dificultad y el consumo de tiempo que requiere la tarea de identificar taxonómicamente los numerosos individuos presentes en las muestras de plancton, se ve reducida. El procesamiento de imágenes de plancton han hecho posible que de forma automática o semi-automática se logre determinar y cuantificar la composición de plancton (Benfield *et al.*, 2007), además de obtener datos relevantes para la obtención del espectro de tamaños de los organismos (Manríquez, 2009; Guerrero *et al.*, 2004).

El espectro de tamaño del zooplancton es muy amplio y existen varias formas de describir a la comunidad zooplanctónica. Una de ellas, de acuerdo con Boltovskoy (1999) y Harris *et al.*, (2000), es a partir de la estructura de tallas que clasifica al mesozooplancton, componente importante dentro de la comunidad del zooplancton, con un rango de talla que varía de 0,2 a 20 mm y que viven en la parte más superficial en los primeros 100 m.

Históricamente el zooplancton se ha muestreado principalmente con el uso de nets, bombas o botellas de agua para la colección de especies y cuantificación de los patrones de distribución. Mientras que estos estudios proporcionan información muy valiosa sobre especies y ciclos de vida; su resolución temporal y espacial es generalmente limitada, debido al tiempo de análisis. Esto reduce la capacidad para comprender los procesos que controlan la dinámica de los ecosistemas pelágicos en tiempo (Gorsky *et al.*, 2009). Métodos "semicuantitativos" fueron desarrollados con el

fin de acelerar los procesos de recuento de zooplancton (Ward, 1955; Waren, 1957; Prielgel, 1970; Bossanyi, 1950; Lindenberg, 1973) que sirven solo para contar organismos bien conocidos y fácilmente identificables.

En 1963, Mitson describió el primer aparato capaz de contar plancton automáticamente, más tarde Jensen (1969) y Outryve y Sorgeloos (1976) construyeron sistemas similares. Todos estos equipos están diseñados para contar partículas (larvas de *Artemia salina* o de peces) de un solo tamaño, sin embargo, solo acepta un único tipo de partículas o, reacciona exactamente igual frente a cualquier organismo. Consecuentemente, su utilidad para una muestra de plancton neta es sumamente limitada. Cooke *et al.*, (1970) lograron perfeccionar el sistema de tal manera que este no solo contara las partículas sino que también las diferenciara en 7 clases de tamaño (de 0.5 a más de 15 mm). La cibernética es decir el analizador de imágenes televisivas tales como, Quantimet 720 o similares (Fawell, 1976) pueden recoger imágenes de zooplancton y analizar parámetros tales como largo, ancho perímetro, área, volumen, densidad, e inclusive relaciones más complejas. Fawell (1976) ensayó el fraccionamiento por taxones a partir de una muestra artificial integrada por copépodos eufaúsidos y quetognatos, obteniendo resultados altamente positivos.

El análisis de imágenes ha sido considerado una alternativa potencial al tratamiento manual de muestras de plancton (Jefferies *et al.*, 1984; Rolke and Lenz, 1984; Gorsky *et al.*, 1989; Steidinger *et al.*, 1990; Tang *et al.*, 1998). Los primeros intentos

en utilizar métodos ópticos para el tratamiento de muestras de plancton fueron emprendidos por Ortner *et al.*, (1979) que utilizaron la silueta de la fotografía para grabar el contenido de una muestra de plancton. Las imágenes de las siluetas de muestras de plancton en la película fotográfica, imagen de video y una digitalización limitada de muestras de plancton seguida de la identificación automática se desarrolló en la década de 1980 (Jefferies *et al.*, 1984; Rolke y Lenz, 1984; Manfred y Lenz, 1984; Gorski *et al.*, 1989; Steiclinger *et al.*, 1990; Tang *et al.*, 1998).

La investigación en ecología del zooplancton está experimentando un cambio rápido en los últimos años debido al desarrollo de nuevas tecnologías para las mediciones *in situ* y análisis de muestras. Instrumentos ópticos, como los contadores de partículas o sistemas de imágenes, ahora detectan automáticamente y miden la distribución del plancton en la columna de agua.

A inicios del siglo XXI se han desarrollado nuevas tecnologías, como la del ZooScan, escáner que ha hecho factible digitalizar imágenes individuales de buena calidad de un gran número de muestras de plancton en forma simultánea, adecuado para realizar mediciones ópticas de partículas que van desde 200 μm a varios centímetros (Grosjean *et al.*, 2004; Gorsky *et al.*, 2009; Manriquez *et al.*, 2009) y potencialmente puede ser utilizado en los programas de vigilancia de zooplancton (Schultes y Lopes, 2009). Planckton Visual Analyser (OVA) (San Martin *et al.*, 2006), Optical Plankton Counter (OPC) (Sourisseau y Carlotti, 2006), Laser Optical Plankton Counter (LOPC) para partículas de entre 100 μm a 3 cm y que proporciona mediciones de alta resolución de todas las partículas en la columna de agua

(Basedow *et al.*, 2009; Schultes y Lopes, 2009); o Laser In Situ Scattering and Transmissometry Particle Size Analyzer (LISST) mencionado por Zhou (2006) para partículas entre 1 μm a 250 μm ; todos estos instrumentos automatizados facilitan las investigaciones a gran escala en tiempo y espacio ya que la composición de los grupos funcionales dominantes puede variar en intervalos de tamaños y lugares diferentes durante tiempo distintos.

Estudios de zooplancton en el Perú datan desde hace más de 50 años y en la mayoría de los casos han sido orientados a conocer su taxonomía, composición, distribución y abundancia (Bonicelli, 2008; Castillo, 2004; Segura, 2000; Santander *et al.*, 1996; Santander *et al.*, 1981, Sandoval de Castillo, 1979, Einarson, 1963). Otras investigaciones se han conducido para entender aspectos ecológicos y biológicos de los principales grupos del mesozooplancton (Sánchez, 2013; Aronés *et al.*, 2009; Ayón *et al.*, 2008., Ciales *et al.*, 2007; Ayón *et al.*, 2004; Smith, 1981). Lo común en estos trabajos es que se han realizado sobre la base del análisis tradicional en microscopio.

Este trabajo presenta una nueva alternativa de análisis para el procesamiento de muestras de zooplancton en el Perú, el sistema ZooScan sobre la base del reconocimiento de imágenes digitales. Previos estudios en diferentes partes del mundo han validado su uso para la obtención de data en identificación, enumeración y distribución de tamaños a partir de muestras colectadas con red. Aquí, se ha evaluado la estructura de tamaños en base al biovolumen del mesozooplancton en 94

estaciones a lo largo de la costa norte y centro del Perú y se ha intentado definir patrones espacio-temporales en base a la estructura de tallas de esta comunidad en un ciclo anual (2008-2009).

El objetivo de este estudio fue determinar la composición específica del mesozooplankton en la zona norte y centro del mar peruano y evaluar los cambios estacionales en la estructura de tamaños a través de imágenes digitales basados en descriptores de la comunidad como la pendiente, el biovolumen y el Índice de Clases de Tamaño (SCI).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El estudio abarcó el espacio marino del norte y centro del Perú, entre los 5°S y 13°S dentro de las 150 millas de distancia a la costa. La zona norte quedó delimitada entre los 05° y 06°S y la zona central entre los 06° y 13°S (Zuta y Guillen; 1970) (Fig.1).

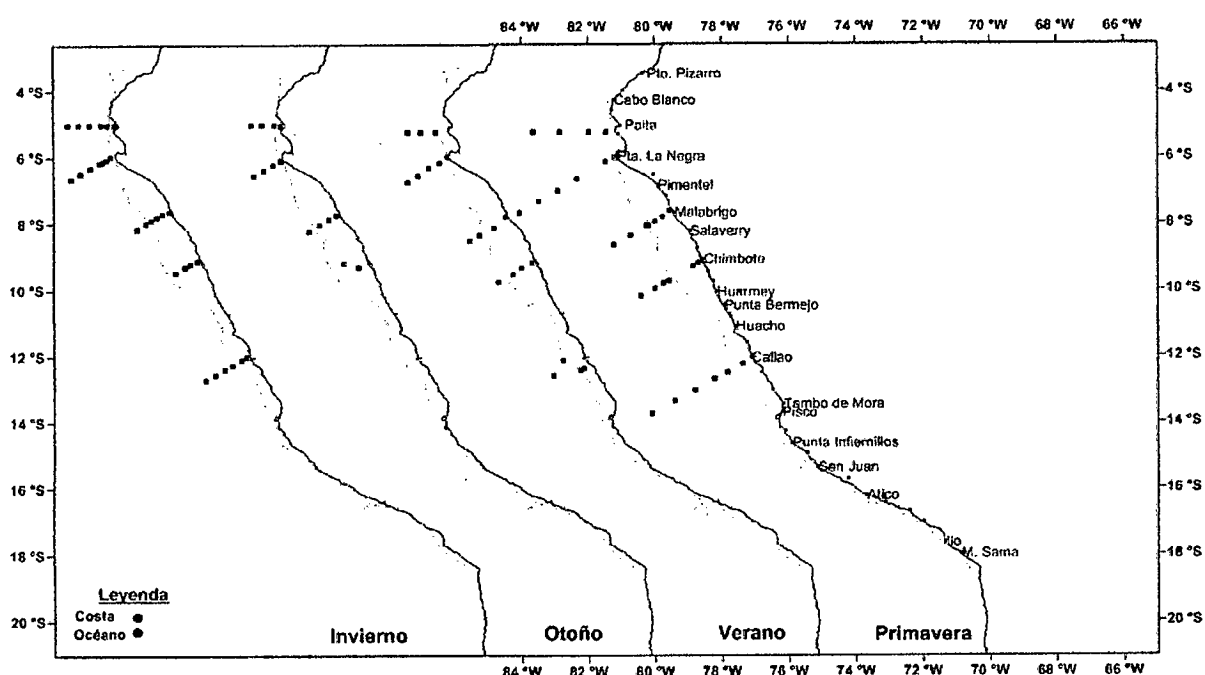


Fig.1. Distribución de perfiles y estaciones de muestreo en la zona centro y norte del mar peruano, entre primavera 2008 e invierno 2009.

2.2. Metodología

2.2.1. Diseño de muestreo

Las muestras fueron seleccionadas de cruceros oceanográficos realizados

por IMARPE Cr0811-12, Cr0902-04, Cr0906-07, Cr0908-09 entre noviembre del 2008 y septiembre del 2009. A lo largo de este periodo se evaluó un total de 94 muestras (Tabla 1), las mismas que fueron distribuidas en cinco perfiles: Paita, Punta La Negra, Malabrigo, Chimbote y Callao; y clasificadas en relación con el Zócalo continental como costeras u oceánicas. En el crucero de otoño (Cr0906-07) no se monitoreó el perfil Callao.

Tabla 1. Número de muestras colectadas en cada crucero.

Perfiles	Relación con el Zócalo	Cr0811-12		Cr0902-04		Cr0906-07		Cr0908-07		Total
		Norte	Centro	Norte	Centro	Norte	Centro	Norte	Centro	
Paita	Costa	-	-	-	-	2	-	3	-	5
	Océano	5	-	3	-	2	-	4	-	13
Pta. La Negra	Costa	1	-	1	-	-	-	-	-	2
	Océano	5	-	4	-	4	-	7	-	20
Malabrigo	Costa	-	5	-	2	-	3	-	4	13
	Océano	-	2	-	2	-	1	-	2	8
Chimbote	Costa	-	2	-	3	-	2	-	4	11
	Océano	-	3	-	1	-	-	-	1	6
Callao	Costa	-	1	-	1	-	-	-	2	4
	Océano	-	5	-	3	-	-	-	4	12
TOTAL		11	18	8	12	8	6	14	17	94

2.2.2. Trabajo en campo

2.2.2.1. Colecta de muestras biológicas

Las muestras fueron colectadas por IMARPE donde se utilizó una red Hensen, con una malla de 300 μ m, en arrastres verticales desde los 50 m

de profundidad hacia la superficie, a una velocidad de 1,0 m/s aproximadamente. En las estaciones con profundidades menores de 50 m, los arrastres se realizaron desde 2 m antes de llegar al fondo hacia la superficie. Las muestras fueron fijadas y preservadas con formaldehído al 2% inmediatamente después de ser colectadas.

2.2.2.2. Toma de parámetros oceanográficos (Temperatura, Salinidad y Oxígeno)

Durante la colección de las muestras, IMARPE obtuvo los parámetros oceanográficos (temperatura, salinidad, y oxígeno). Para ello se colectaron muestras de agua extraídas con botellas Niskin de 5 l de capacidad provistas de termómetros de inversión a niveles pre-establecidos (10, 25, y 50 m). La temperatura superficial del Mar (TSM°C) se obtuvo empleando termómetro de superficie Richter & Wiese y el sensor de temperatura FURUNO modelo T-2000. La salinidad fue analizada por el método de inducción con el PORTASAI 8410 A Guildline y el oxígeno disuelto se obtuvo empleando el método de Winkler modificado por CARRIT y CARPENTER (1966).

2.2.3. Trabajo de gabinete

2.2.3.1 Fraccionamiento de las muestras

Cada muestra fue fraccionada siguiendo las técnicas del método standard APHA/AWWA/WEF (2012) utilizando el divisor MOTODA. Con la fracción

obtenida se realizó un “fraccionamiento selectivo” mediante el uso de tamices dispuestos en columnas de forma decreciente 1000, 500 y 250 μm (Manfred y Jurgen, 1984; Quinones *et al.*, 2003; Manríquez *et al.*; 2009). Estas nuevas submuestras fueron observadas en el estereoscopio y se extrajo el detrito u otra estructura que no fuera un componente del zooplancton.

2.2.3.2 Instalación del ZooScan

El ZooScan (<http://www.zooscan.com>) se compone de dos elementos principales e impermeables que permiten el procesamiento seguro de muestras líquidas: la base articulada que contiene la muestra y un canal de drenaje que se utiliza para su recuperación. ZooScan (Gorsky y Grosjean, 2003; <http://www.zooscan.com>) permite el análisis rápido y completo de muestras conservadas de zooplancton y almacena los datos en formato digital (Grosjean *et al.*, 2004) permitiendo el fácil intercambio y recuperación de la información (Grassle, 2000). Además proporciona medidas sensibles del tamaño del cuerpo, que se pueden convertir en un espectro de tamaño (Gorsky *et al.*, 2010).

El sistema ZooScan empleado en este estudio fue un modelo Biotom controlado por el software Zooprocess versión 6.16 quien a su vez está basado en el lenguaje de Image J (Abramoff *et al.*, 2004; Rasbabd, 2005) y asociado a VueScan 8.3.23 para la digitalización de las imágenes. Los software se instalaron en una computadora Pentium IV Marca Dell de 2.53 Ghz con 2-Gb de memoria RAM con el sistema Windows XP. ZooScan se

calibró primero escaneando imágenes a 2400 dpi, dos actualizaciones del software se realizaron a intervalos casi semestrales desde el sitio web ZooScan (www.zooscan.com).

2.2.3.3 Digitalización de las muestras

Antes de cada uso, el área que retiene la muestra en el sistema ZooScan, se limpió con ácido acético y abundante agua; de esta manera se garantizó la correcta limpieza del equipo. Luego, se procedió a colocar nuevamente agua a temperatura ambiente con el fin de evitar la formación de burbujas de aire que pudieran ser consideradas como organismos zooplanctónicos. Las submuestras, se vertieron directamente en la celda de referencia. Con ayuda de pinceles se separaron los organismos superpuestos antes de digitalizar la imagen; tanto la introducción y recuperación de la muestra fueron simples y rápidas. (Grosjean *et al.*, 2004; Gorsky *et al.*, 2010; Manríquez *et al.*, 2009; Schultes y López, 2009). El siguiente paso fue escanear la imagen a una resolución final de 1200 dpi y 16 bits de nivel de grises, obteniéndose imágenes en crudo de aproximadamente 250 Mb por imagen. Un total de 458 imágenes fueron almacenadas. Con alguna frecuencia se obtenía una imagen que contenía sólo agua para corregir el nivel de gris contenido en el fondo.

2.2.3.4 Procesamiento de las imágenes

Para el procesamiento, las imágenes de 16 bits se convirtieron a 8 bits, para ello la imagen inicial se cortó en dos imágenes separadas, las cuales fueron posteriormente procesadas y analizadas de forma independiente. Tanto la conversión como la división fueron impuestas por las limitaciones del software ZooProcess en el momento del estudio. La distribución del tamaño y el biovolumen de las muestras de zooplancton digitalizado se estimaron a partir de las mediciones proporcionadas para cada objeto reconocido en el archivo llamado "PID-file"; además se obtuvieron las imágenes individuales "viñetas" de los organismos presentes en las imágenes escaneadas inicialmente. De esta manera se realizó un análisis cualitativo de las especies presentes en las zonas evaluadas, el programa Plankton Identifier no pudo usarse por motivos de actualización del mismo.

2.2.3.5 Construcción de la base de datos

Con las mediciones proporcionadas para cada objeto contenidas en el archivo "PID-file" se construyó una tabla dinámica en Excel, posteriormente la información se limpió de manera manual, es decir, se eliminó la información generada de cualquier otro elemento que no fuese de organismo zooplanctónico (antenas, apéndices, detritos, etc.).

La tabla dinámica se completó con los siguientes datos:

2.2.3.5.1. Conversión de pixeles a micrómetros

Los valores del eje mayor (largo) y eje menor (ancho) se multiplicaron con el factor de conversión (García, 2010).

$$\text{Milímetro/pixel} = \frac{25.4 * 10^{-3}}{\text{Resol} * 1000}$$

La resolución final de las imágenes fue de 1200 pixeles, entonces el factor de conversión fue de 21.17 μm .

2.2.3.5.2. Cálculo del Biovolumen elipsoidal (Ebv)

Para calcular el biovolumen de un objeto de su área de sección transversal, fue necesario conocer la forma geométrica del objeto, la relación de sus ejes mayor y menor y su orientación relativa al sistema de iluminación. Los copépodos por ejemplo se pueden representar como elipsoides (Herman, 1992). Con los valores del largo y ancho se realizó el siguiente cálculo (Manfred y Jorgen, 1984; García, 2010).

$$\text{Ebv} = 4/3 * \pi * (\text{Eje mayor}/2) * (\text{Eje menor}/2)^2$$

El valor del biovolumen se convirtió de μm^3 a mm^3 .

2.2.3.5.3. Cálculo de la abundancia: organismos/ m^3

Se calculó la densidad (organismos/ m^3) en cada punto de muestreo (García, 2010),

$$\text{Nº de organismos}/\text{m}^3 = \frac{\text{N} * \text{Submuestra}}{(\text{Volumen})}$$

Dónde:

N : número de organismos escaneado.

Submuestra : fracción en la que se dividió la muestra con el divisor Motoda.

Volumen : área de la red con la que se colectó la muestra ($\pi \cdot r^2$) por la profundidad muestreada (h). El radio de la red (r) fue de 0,325 m.

2.2.3.5.4. Cálculo de Biovolumen total

Se halló el biovolumen total multiplicando el valor de biovolumen por la densidad.

Dónde:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Nº de organismos/m}^3}{\text{Total de organismos escaneados}}$$

2.2.3.5.5 Construcción del espectro de tamaños

Para crear el espectro de tallas fue necesario definir primero las clases de tamaños partiendo de la clase 0,002 – 0,004 mm³ hasta 524,288 – 1 048,576 mm³, en escala geométrica (García, 2010); es decir, que cada clase de tamaño fue más ancha que la anterior, luego se ordenaron según biovolumen total de los organismos por su clase de tamaño. Finalmente se decidió trabajar solo con diez clases de tamaño: de 0,064 – 0,128 mm³ hasta 32,768 – 65,536 mm³ ya que la moda de los conteos normalizados de todas las estaciones siempre estuvo localizada en la clase 0,064 – 0,128 mm³ y se eligió este intervalo como límite inferior. El límite máximo fue buscado por un método iterativo para obtener el más alto intervalo con

alguna clase vacía del espectro para todas las estaciones de los cuatro cruceros (Sourisseau y Carlotti, 2006). Este intervalo fue 32,768 – 65,536 mm³.

2.2.3.5.6 Normalización del biovolumen

Para analizar la distribución del tamaño del biovolumen, los espectros se normalizaron y se representaron gráficamente en una escala logarítmica, como se describe por Platt y Denman (1977, 1978). La biomasa se normalizó para hacer los espectros independiente de la clase de tamaño (San Martin *et al.*, 2006; Schultes y López, 2009), ya que la anchura de las clases de tamaño varía a través del espectro (Schultes y López, 2009; Manriquez, 2009).

El espectro normalizado del biovolumen b (Platt y Denman, 1978; Zhou y Huntley, 1997; Edvardsen *et al.*, 2002, Basedow *et al.*, 2009) se definió como: la división del biovolumen total (mm³m⁻³) de cada clase de tamaño sobre la amplitud de cada clase de tamaño correspondiente (mm³) (se escogió el punto medio entre el límite inferior y el superior) (Quinones *et al.*, 2003; Sourisseau y Carlotti, 2005), seguido por una transformación logarítmica en base 10. Así se produjo el espectro de biovolumen normalizado para cada estación de muestreo. Finalmente se obtuvo la línea recta para cada estación de muestreo que fue ajustada por una regresión lineal de mínimos cuadrados (Sprules y Munaguar, 1986).

$$b = \frac{\text{biovolumen en intervalos de tamaño } \Delta w}{\text{Intervalo de tamaño } \Delta w \text{ (m}^3\text{)}}$$

Siendo w , el biovolumen del individuo de zooplancton en milímetros cúbicos. El espectro normalizado de Platt y Denman (1978) se ajusta a un modelo lineal sobre una gráfica doblemente logarítmica de la biomasa versus el tamaño de las partículas. Las clases de tamaño fueron calculadas para cada muestra en intervalos logarítmicos de base 10 (San Martín *et al.*, 2006).

2.2.3.5.7 Pendiente lineal

Para comparar los espectros entre sí, la pendiente de los espectros del biovolumen observados se calculó mediante el ajuste (mínimos cuadrados) de una función lineal para cada espectro.

Propiedades del espectro fueron examinadas después de una regresión lineal (regresión simple modelo I) usando la pendiente (b) y un adecuado valor para el coeficiente de determinación (r^2). Transformación logarítmica se aplicó como $\log 10$, de tal manera que los valores cero debido a las ausencias de las clases de tamaño fueron excluidos de las regresiones (Manríquez *et al.*, 2009).

El análisis de regresión se llevó a cabo usando mínimos cuadrados (Modelo I) de regresión. Para los datos de tamaño de distribución de la biomasa, donde la variable independiente (es decir, el tamaño del cuerpo) no está bajo el control del investigador y se somete a un error, el Modelo II (es decir, ambas variables muestran una variación aleatoria) sería más apropiado (Leyes y Archie, 1981). Sin embargo, hemos decidido utilizar el

modelo I, ya que nos permitió examinar las diferencias entre las líneas de regresión y también hacer la comparación con otros espectros publicados (Quinones *et al*, 2003).

La pendiente (b), el intercepto (a) y el coeficiente de determinación (r^2) de los espectros de biovolumen normalizado fueron los parámetros que resumieron la estructura de tallas de la comunidad (San Martín *et al*., 2006).

Finalmente las pendientes de los espectros de las 94 unidades evaluadas tuvieron como fórmula:

$$Y = bx + a$$

Donde el eje X = Log10 (puntos medios de cada clase de tamaño en mm³)

Donde el eje Y = Log10 (normalización del biovolumen total)

Además de la pendiente de los espectros de tamaño y con el fin de obtener un índice de clases de tamaño predominante de cada espectro, se estimó **el índice de clases de tamaño (SCI)**:

$$SCI = \sum_{i=1}^k \frac{in_i}{N}$$

Dónde:

i= es la clase de tamaño (mm³)

n=es la abundancia de cada clase de tamaño mm³m³

k=es el número total de clases

N=la abundancia total de la muestra

2.2.3.5.8 Análisis estadístico

Previamente se evaluó la normalidad de los datos que se iban a comparar con el fin de determinar el estadístico a usar. Se aplicó un análisis ANOVA para datos normales o Kruskal Wallis para datos con distribución no normal cuando se examinó algún parámetro en relación a las cuatro estaciones: primavera, verano, otoño e invierno con el fin de determinar diferencias significativas entre ellas. Cuando se comparó algún parámetro en relación a la latitud (norte y centro) o en relación a la distancia de la costa (costera y oceánica) un test Student (para datos normales) o una prueba de Mann Whitney (para datos no normales) fue aplicado. Estas pruebas se realizaron con el paquete estadístico MINITAB 16.0.

III. RESULTADOS

3.1. Composición específica

Tabla 2. Composición específica del mesozooplankton en el norte y centro del mar peruano durante los cruceros Primavera (Cr0811-12), Verano (Cr0902-04), Otoño (Cr0906-07), Invierno (Cr0908-09) realizados por IMARPE entre noviembre del 2008 y setiembre del 2009.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESPECIE
Cnidaria	Hydromedusae	SC Trachymedusae	Rhopalonematidae	<i>Pantachogon</i> sp.
	Hydrozoa	SC Siphonophora	Abylidae	<i>Abylopsis tetragona</i> (bráctea)
			Diphyidae	<i>Muggiaea atlantica</i> (nectóforo superior)
				<i>Muggiaea</i> sp. (nectóforo superior)
Mollusca	Gasteropoda	Littorinomorpha	Athlantacea	<i>Athanta</i> sp1.
				<i>Athanta</i> sp2.
		ND	-	-
Anellida	Polychaeta	ND	-	-
		Spionida	Magelonidae	-
		Phyllodocida	Alciopidae	<i>Magelona</i> sp.
			Lopadorhynchidae	<i>Pelagobia</i> sp.
			Tomopteridae	<i>Tomopteris</i> sp.
Arthropoda	Ostracoda	-	-	<i>Porroecia</i> sp.
		ND	-	-
	Copepoda	Calanoidea	Acartiidae	<i>Acartia</i> sp1.
			Acartiidae	<i>Acartia</i> sp2.
			Aetidae	<i>Euchirella</i> sp.
			Augaptilidae	<i>Haloptilus</i> sp.
			Calanidae	<i>Calanus</i> sp.
				<i>Nannocalanus</i> sp.
				<i>Nannocalanus minor</i>
			Candaciidae	<i>Candacia</i> sp.
			Clausocalanidae	<i>Clausocalanus</i> sp.
			Pontellidae	<i>Pontellina</i> sp.
				<i>Pontella</i> sp.
			Scolecitrichidae	<i>Scolecithricella</i> sp.
			Euchaetidae	<i>Euchaeta</i> sp.
			Eucalanidae	<i>Eucalanus inermis</i>
				<i>Paraeucalanus attenuatus</i>
				<i>Rhincalanus</i> sp.
				<i>Subeucalanus</i> sp.
				<i>Rhincalanus cornutus</i>
			Centropagidae	<i>Centropages brachiatus</i>
				<i>Centropages furcatus</i>
				<i>Centropages</i> sp.
			Paracalanidae	<i>Paracalanus parvus</i>
				<i>Paracalanus</i> sp.
				<i>Calocalanus pavo</i>
			Temoridae	<i>Temora</i> sp.

		Cyclopoidea	Oithonidae	<i>Oithona</i> sp. 1
				<i>Oithona</i> sp. 2
				<i>Oithona</i> sp. 3
		Poecilostomatoida	Corycaeidae	<i>Corycaeus dubius</i>
				<i>Corycaeus</i> sp. 1
			Oncaeidae	<i>Oncaea</i> sp. 1
				<i>Oncaea</i> sp. 2
			Saphirinidae	<i>Saphirina</i> sp.
				<i>Saphirina iris</i>
				<i>Copilia mirabilis</i>
		Harpacticoida	Clytemnestridae	<i>Clytemnestra rostrata</i>
	Malacostraca	Stomatopoda	-	-
			Squillidae (larva)	-
		Euphausiacea	Euphausiidae	<i>Euphausia</i> sp. (caliopsis)
				<i>Euphausia</i> sp. (furcilia)
				<i>Euphausia</i> sp. (juvenil)
				<i>Euphausia</i> sp.
				<i>Euphausia mucronatha</i>
				<i>Euphausia eximia</i>
				<i>Styloqueiron</i> sp.
		Amphipoda	Parascelidae	<i>Thyropus diaphanus</i>
				-
			Lycaeidae	<i>Brachyscelus cruscum</i>
			Lestrigonidae	<i>Lestrigonus</i> sp.
			Oxycephalidae	<i>Oxycephalus</i> sp.
			Hyperiididae	<i>Phronimopsis spinifera</i>
				<i>Phronimopsis</i> sp.
				-
			Pronoidae	<i>Phronima</i> sp.
				<i>Eupronoe maculata</i>
			Paraphronimidae	<i>Paraphronima gracilis</i>
		Ampelescidae		<i>Ampelisca gibba</i>
				<i>Ampelisca</i> sp.
			Vibiliidae	<i>Vibilia armata</i>
		Decapoda	Anomura	<i>Emerita analoga</i> (zoea)
				<i>Pleuroncodes monodon</i>
				(megalopa)
				Zoea
			Brachyura	Zoea
		SO: Demdrobranchiata		
				<i>Lucifer</i> sp.
			Caridea	Mysis
		Mysidacea	-	-
	Maxillopoda	Cirripedia	-	cypris
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomata	-	<i>Membraniphora</i> sp.
Phoronida	-	-	-	-
Chaetognatha	Sagittoidea	Aphragmophora	Sagittidae	<i>Sagitta enflata</i>
				<i>Sagitta pacifica</i>
				<i>Sagitta peruviana</i>
				<i>Sagitta</i> sp.
Chordata	Thaliacea	Doliolida	Doliolidae	<i>Doliolum</i> sp.
		Salpida	Salpidae	-
	Appendicularia	-	Oikopleuridae	<i>Oikopleura</i> sp.
	Actinopterygii	Clupeiformes	-	<i>Engraulis ringens</i> (huevo)
			-	larva
	ND	Beloniformes	-	huevo
		-	-	huevo larva

Una revisión general del mesozooplankton de la costa centro y norte del Perú durante los cruceros 2008 y 2009 es presentado en la Tabla 01, siguiendo la taxonomía de Boltovkoy (1999). La taxa se distribuyó en 8 phylum, 10 clases, 17 órdenes, 46 familias y 93 especies. Las clases Malacostraca y Copepoda fueron las más abundantes con cerca del 70 % del total de especies. Los calanoideos fue el grupo más abundante de la clase Copepoda, mientras que los anfípodos y eufásidos lo fueron para la clase Malacostraca (Fig.1) Los briozoos y forónidos albergaron apenas una especie cada uno.

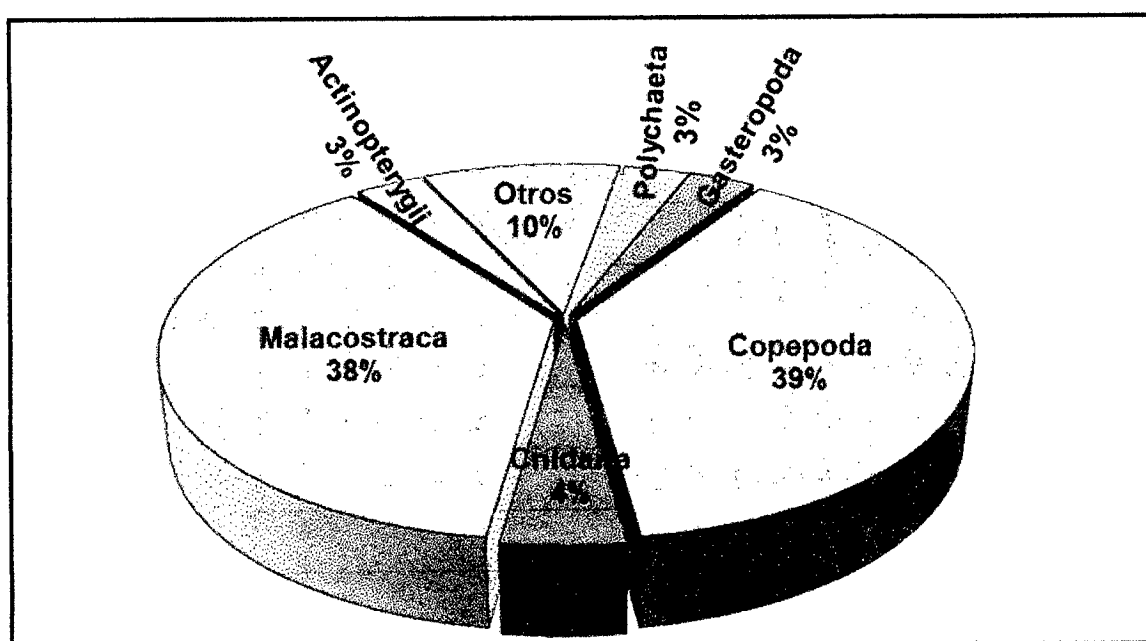


Fig. 02. Abundancia relativa de especies de los principales grupos del mesozooplankton en el norte y centro del mar peruano durante los cruceros Cr0811-12, Cr0902-04, Cr0906-07, Cr0908-09 realizados por IMARPE entre noviembre del 2008 y setiembre del 2009.

3.2. Espectros de tamaños de biovolumen normalizado

De las 20 clases de tamaño inicialmente tomadas, sólo se consideraron 10 clases en el conteo final y cubrió organismos que medían entre los 0,064 y 65,54 mm³. La distribución de organismos en todo el espectro es mostrada en la Fig. 3. Se evidencia que las clases de tamaños dominantes son las de menor tamaño ya que las tres primeras clases (<0,51 mm³) representaron cerca del 90% del total de la abundancia. Si bien las tallas mayores estuvieron presentes fueron las menos abundantes.

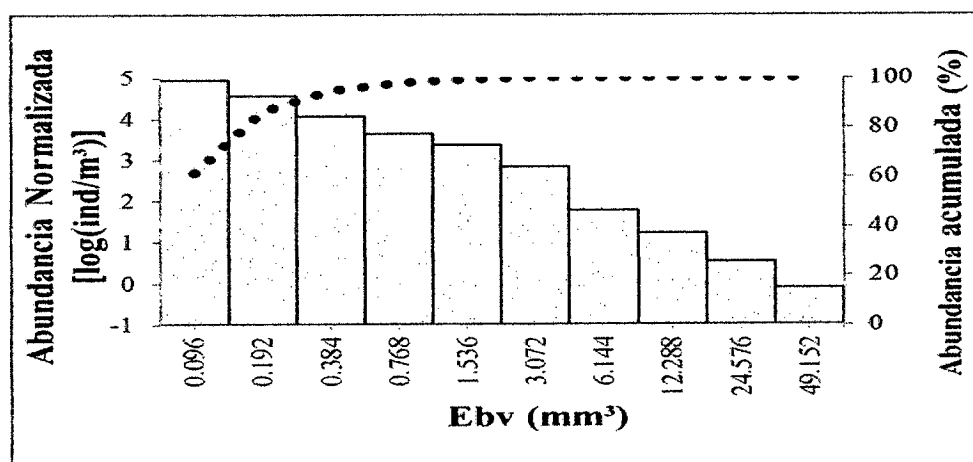
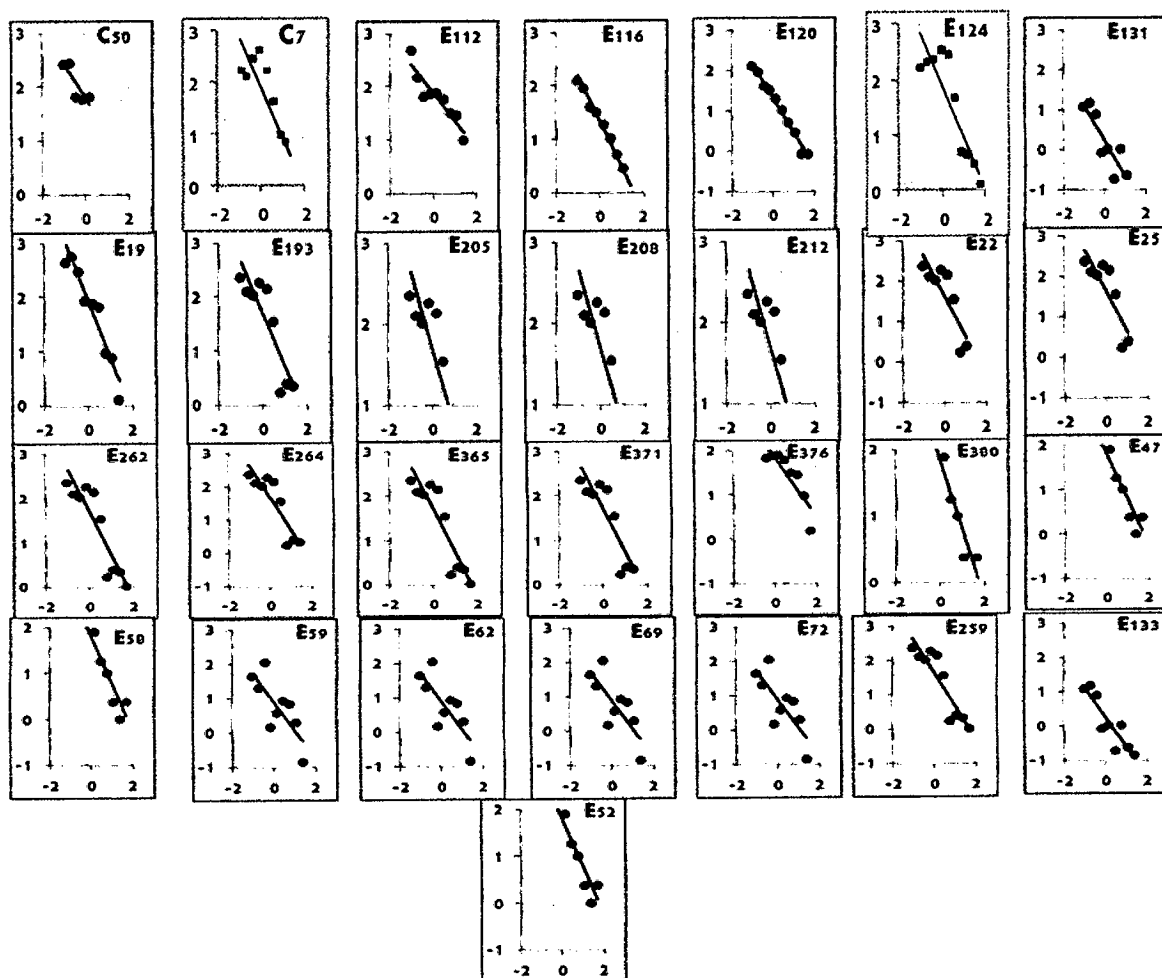


Fig. 3. Espectro de tamaños normalizado del mesozooplankton obtenido en el norte y centro del litoral peruano. Data incluye los muestreos en primavera 2008, verano, otoño e invierno del 2009 realizados por IMARPE.

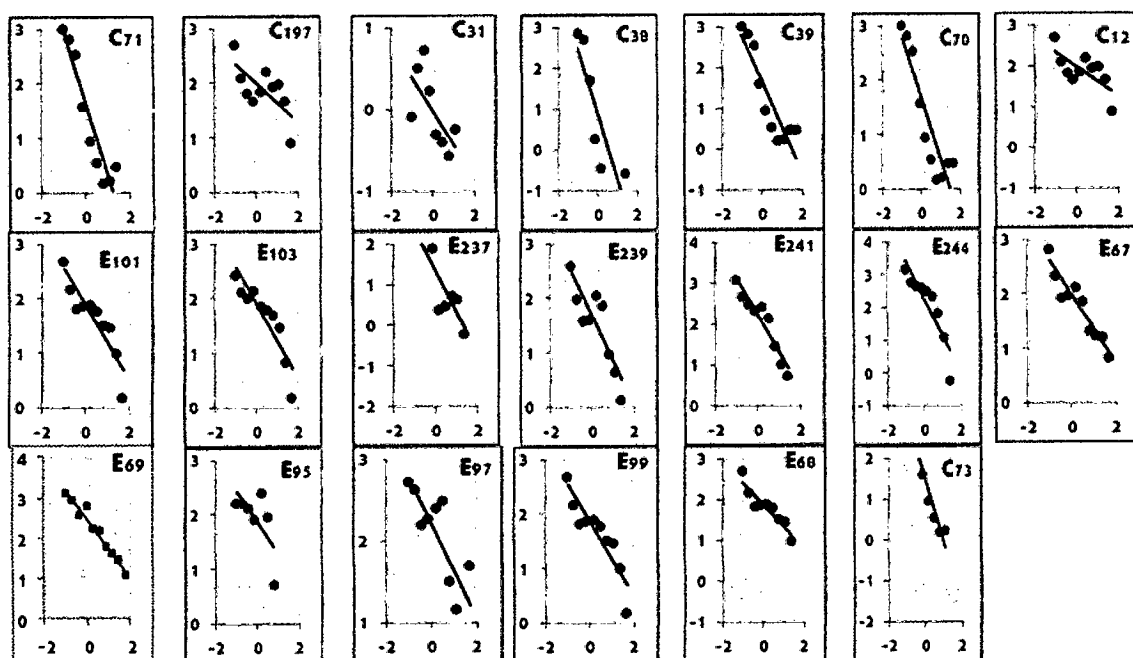
Espectros de tamaños fueron obtenidos a partir de biovolúmenes normalizados y llevados luego a un diagrama log-log. La mayor parte de las regresiones lineales fueron significativas ($P < 0,01$) con $r^2 > 0,45$. Sólo en un 11% de las estaciones, la desviación de la linealidad fue significativa. Los espectros normalizados de las 94 estaciones son presentados en la Fig. 4. Las pendientes de las regresiones

mostraron un amplio rango, de -0,35 a -3,46 debido a la variabilidad espacio-temporal en la que se realizó este estudio. El promedio de las pendientes de la estaciones que se ajustaron a un modelo linear fue - 0,9 y el espectro general es mostrado en la Fig. 5. Cabe resaltar, que este valor cae dentro del rango que predijo el modelo de Platt y Denman (Platt y Denman, 1978) para espectros de biomasa normalizados que caracterizan un sistema pelágico en condiciones estables (steady state).

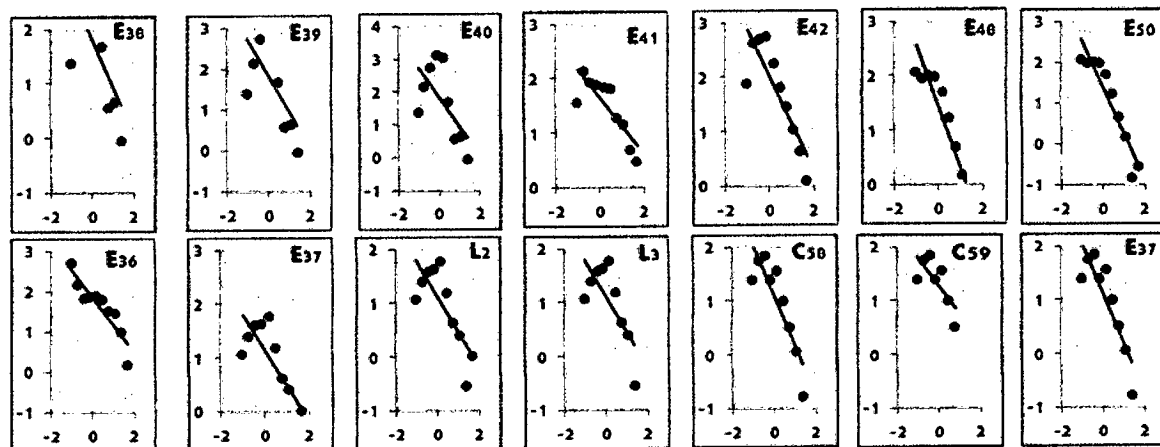
A) Primavera 2008



B) VERANO 2009



C) OTOÑO 2009



D) INVIERNO 2009

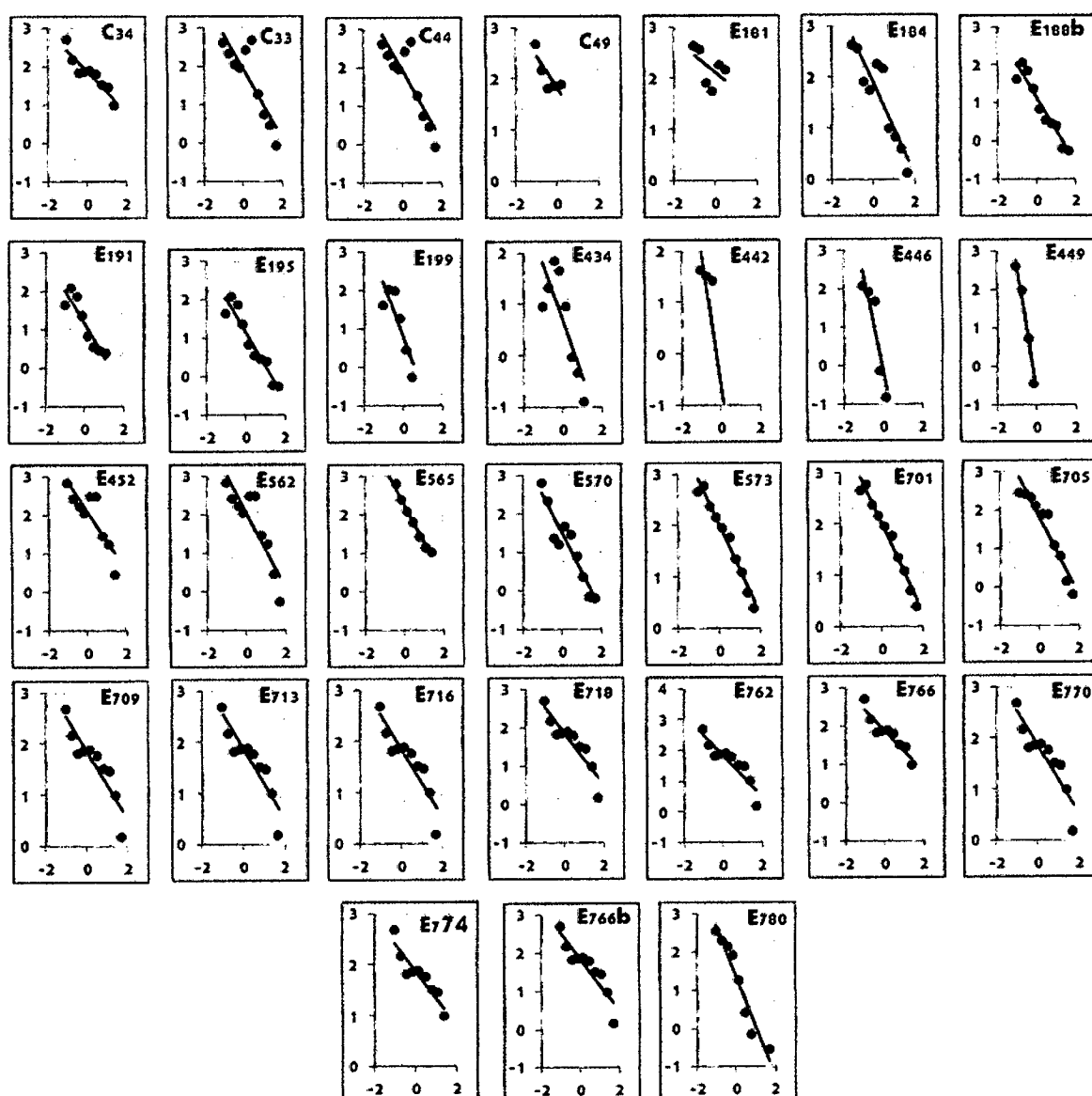


Fig. 04. Espectros de tamaños de biovolumen normalizado de las 94 estaciones muestreadas en el norte y centro del Perú. Espectros están ordenados de acuerdo a la estación en la que el muestreo se llevó a cabo (A, B, C y D).

La línea recta fijada al espectro de tamaños originó dos parámetros más, y junto a la pendiente son importantes para el análisis de la estructura de la comunidad del mesozooplankton. Uno de ellos fue el intercepto-y, parámetro asociado con la abundancia del sistema en estudio (Zhou, 2006). Al igual que las pendientes, se observó un amplio rango con valores que van desde -0,76 hasta 2,45. Para el mar peruano, estos valores deberían representar abundancias muy altas en comparación a otros trabajos que se han llevado a cabo en sistemas oligotróficos. En ciertos casos, la comparación de los interceptos dependerá del sistema log-log que se ha utilizado en cada estudio.

Con respecto al segundo parámetro, los valores del coeficiente de determinación r^2 fueron cercanos a 1, por encima de 0,45 lo que indica que los espectros de tamaños se ajustaron a una función lineal y que las pendientes generadas fueron confiables para analizar la estructura de la comunidad del mesozooplankton. El espectro global de las tallas de esta comunidad en el norte y centro del Perú (Fig. 5) arrojó un coeficiente muy alto 0,92.

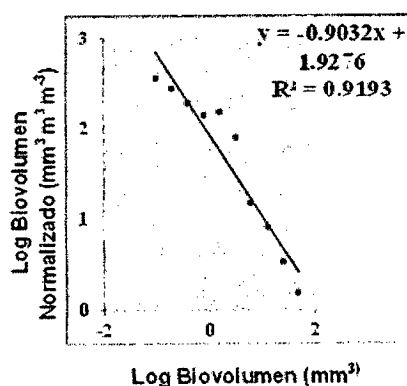


Fig. 5. Espectro general de tamaños de biovolumen normalizado del mesozooplankton en el norte y centro del litoral peruano. Data incluye los monitoreos en primavera 2008, verano, otoño e invierno del 2009. Regresión lineal fue significativa ($P < 0,01$).

Para explorar en mayor detalle los cambios en la estructura de tamaños a lo largo de un ciclo anual, la data fue separada por estaciones siguiendo el curso de los cruceros de investigación del Instituto Del Mar Peruano (IMARPE), los cuales monitorearon el norte y centro del país en el siguiente orden: primavera 2008, verano, otoño e invierno del 2009. Los cuatro espectros se ajustaron al modelo lineal ($P < 0,01$ y $R^2 > 0,7$) y el promedio de pendientes para el verano y otoño fueron las más grandes es decir, las más positivas; en cambio, las pendientes primaverales y de invierno mostraron las pendientes más bajas; por lo tanto, las más negativas (Fig. 7, tabla 3).

De las estaciones con pendientes más positivas fue el verano quien exhibió la pendiente menos empinada lo que explica que fue el periodo donde las tallas más grandes presentaron las más altas densidades. Esto puede ser corroborado en la figura 6. En contraste, invierno presentó la pendiente más empinada (Fig. 7, tabla 3) y si bien fue la estación con la mayor abundancia de organismos/m³ (Fig. 8), éstos se repartieron en las clases de tamaño más pequeñas (fig. 6). Con respecto al espectro de primavera y otoño se aprecia un ligero incremento en las clases medias con la diferencia que en otoño hubo un drástico decremento en las clases de tamaño más pequeñas (Fig. 6). La Tabla 3 presenta el promedio y el rango de las pendientes, intercepto-y y del R^2 de los cuatro espectros estacionales que caracterizaron al norte y centro del mar peruano.

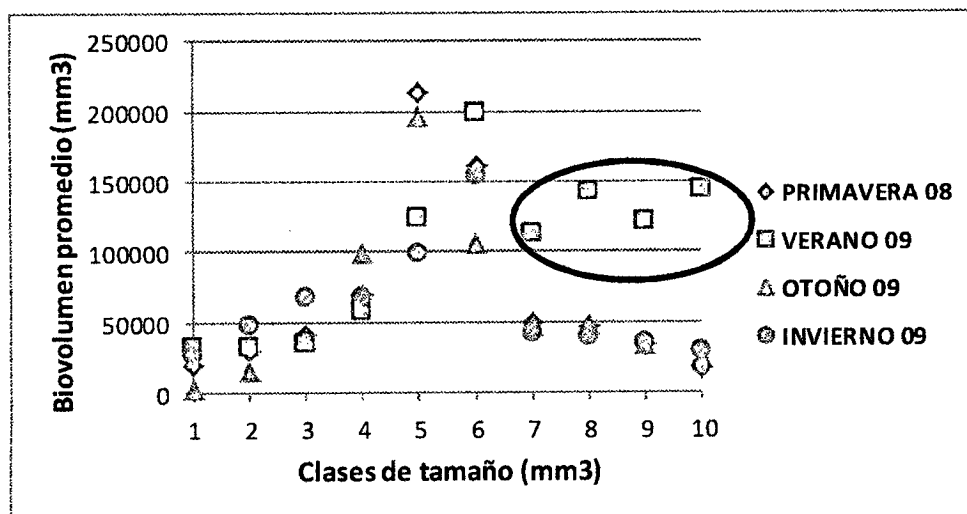


Fig. 6. Distribución temporal de biovolúmenes promedio en el norte y centro del Perú. Los cuadrados encerrados reflejan altas densidades en clases de tamaño mayores para el verano del 2009.

Los resultados del test no paramétrico Kruskal Wallis para evaluar las pendientes en los cuatro periodos proporcionaron un sustento más a lo mencionado anteriormente y dejó en claro una estacionalidad marcada en la estructura de tallas del mesozooplankton en la zona norte y centro del Perú. Las pendientes de verano y otoño fueron significativamente diferentes a las de invierno y primavera ($P_{\text{value}}=0,00$) (Tabla 6).

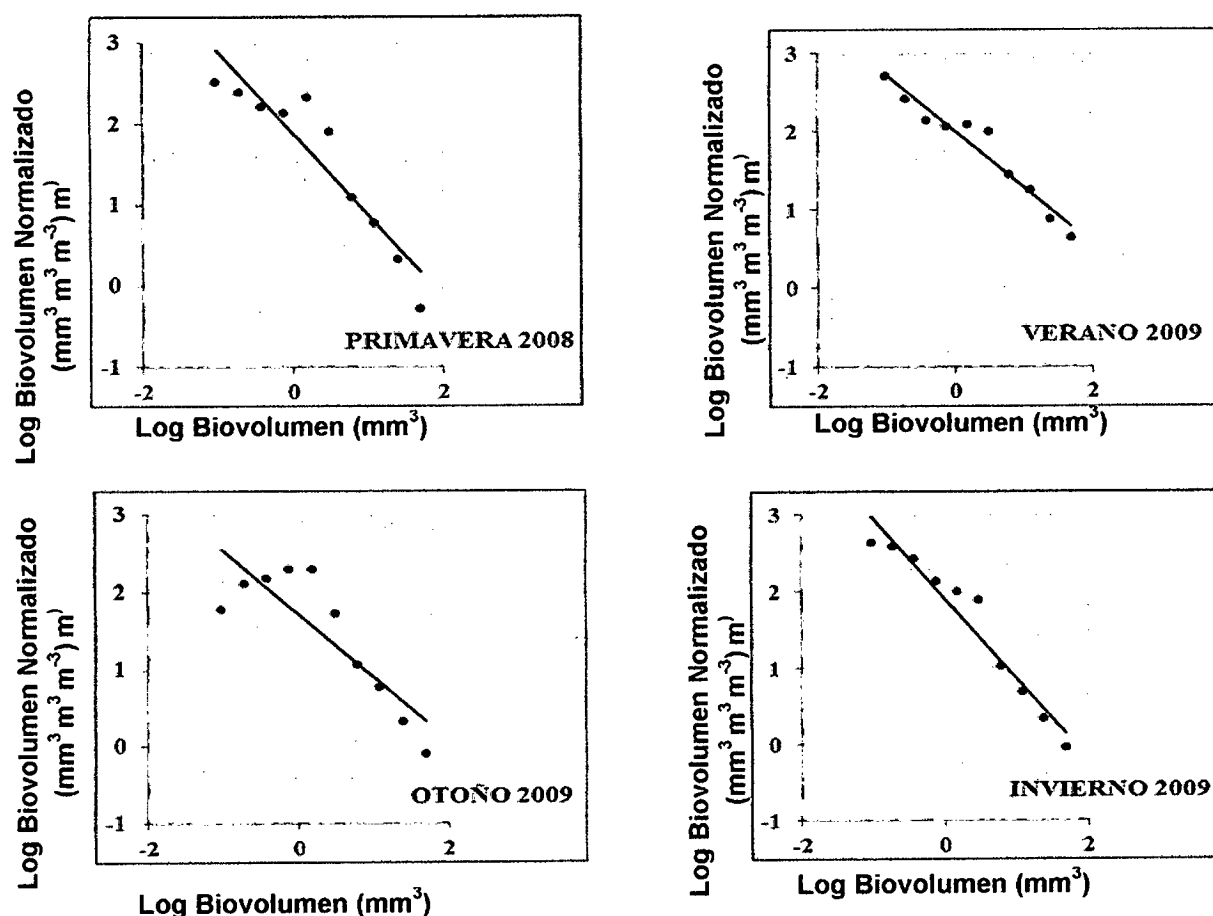


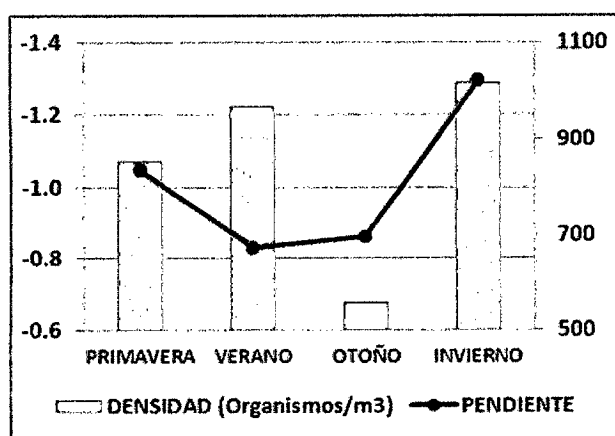
Fig. 7. Variación temporal de los espectros de biovolumen normalizados de mesozooplankton en el norte y centro del litoral peruano. Todas las regresiones lineales fueron significativas ($P < 0,001$).

En lo que refiere al intercepto-y de los espectros presentados en la Fig.7, el verano fue el más abundante en términos de biovolumen debido al incremento de organismos en las clases de tamaño grandes (Fig. 6); sin embargo, los valores de los cuatro periodos no variaron significativamente (Tabla 6).

Tabla 3. Distribución estacional de las pendientes, coeficientes de regresión e interceptos de las funciones lineales que fijan los espectros de tamaños de biovolumen normalizado del mesozooplankton por periodo en el norte y centro del Perú.

Periodo	Pendiente		Intercepto		r^2	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio
Primavera	-0,64; -2,35	-1,05	0,90; 2,12	1,61	0,561; 0,984	0,860
Verano	-0,35; -1,58	-0,83	0,20; 2,45	1,76	0,478; 0,967	0,789
Otoño	-0,52; -1,25	-0,86	0,50; 2,02	1,39	0,523; 0,920	0,738
Invierno	-0,75; -3,46	-1,29	-0,76; 2,35	1,44	0,490; 0,981	0,873

a)



b)

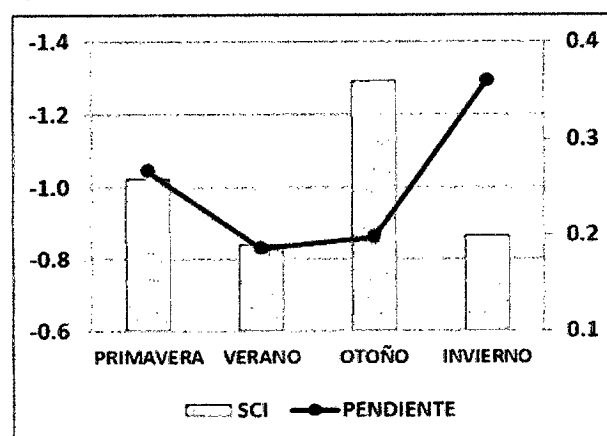


Fig. 8. a) Densidad y b) SCI vs. pendientes del norte y centro del Perú entre 2008 y 2009. La densidad, SCI y pendientes para cada periodo fueron promediadas.

En términos de abundancia (organismos /m³), las densidades por periodo fueron diferentes pero tal variación no fue significativa (Tabla 6). En verano e invierno se obtuvieron las mayores abundancias; en cambio, en otoño la abundancia promedio fue la más baja. Además se observa un cierto grado de no relación entre la distribución temporal de las pendientes promedio de los espectros y las respectivas abundancias promedios por periodo (Fig.8a).

Otro descriptor de la comunidad que se tomó en cuenta en este estudio, diferente a la pendiente, fue el índice de clases de tamaño (SCI). Se observa que los SCI por periodo definieron la dominancia de clases de tamaño pequeñas, característica propia de muchos sistemas pelágicos y que puede ser corroborado en la Fig. 3. No hubo una variación marcada entre las estaciones, salvo en otoño que mostró un ligero incremento del SCI (Fig. 8b), el cual fue significativamente diferente del resto (Tabla 6).

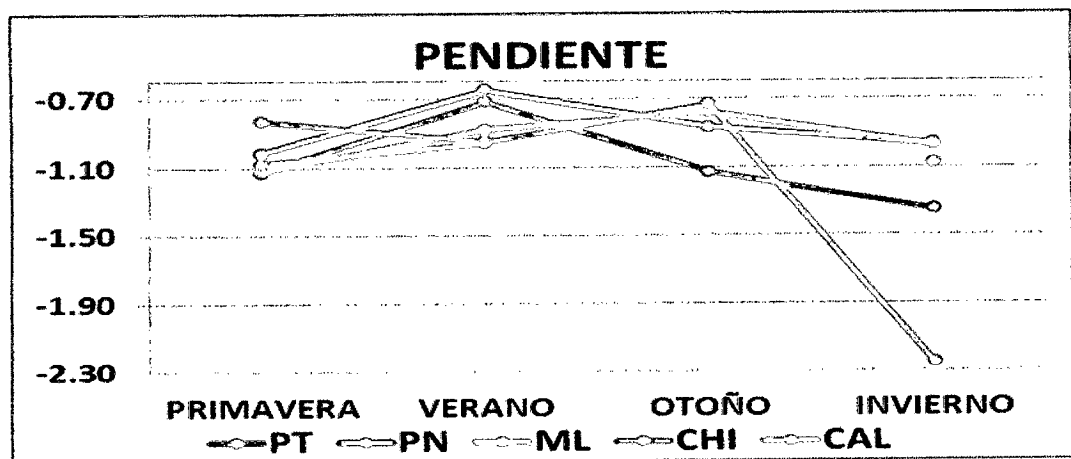


Fig. 9. Variación temporal de las pendientes de los espectros de tamaños por perfiles oceanográficos: PT Paíta, PN Punta La Negra, ML Malabrigo, CHI Chimbote y CAL Callao. En cada perfil las pendientes fueron promediadas. No hay data del perfil Callao en otoño.

En la Fig. 9 se exhibe la distribución espacio-temporal de las pendientes en el norte y centro del litoral peruano. Se observa que los perfiles Paita, Punta La Negra y Malabrigo presentaron similar patrón con alguna excepción, en otoño la pendiente del perfil Malabrigo se torna más positiva y no disminuye como en los otros dos perfiles. En invierno, el perfil Chimbote registró una de las pendientes más negativas de este estudio. Se trató de una estación costera; el ancho de la plataforma continental en esta zona y la época en que se monitoreó pudieron ser los desencadenantes para obtener un espectro muy empinado.

En lo que respecta a la abundancia, también se divisaron ciertos patrones. En los perfiles de Paita y Chimbote la densidad se elevó de primavera a verano para luego descender en otoño y nuevamente subir en invierno. Un modelo diferente se observó en el perfil Punta La Negra en donde la abundancia tuvo incrementos sucesivos desde la primavera 2008 hasta el invierno del 2009. Un último patrón tuvo lugar en Malabrigo; la abundancia descendió hasta otoño para luego incrementarse en invierno (Fig. 10)

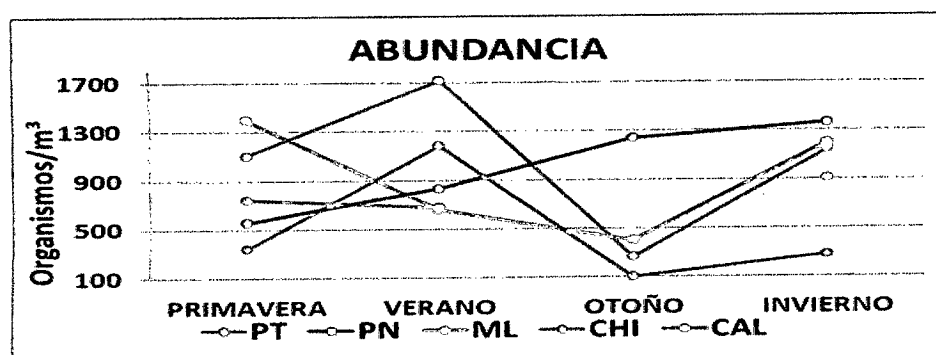


Fig. 10. Variación temporal de la abundancia por perfiles oceanográficos: PT Paita, PN Punta La Negra, ML Malabrigo, CHI Chimbote y CAL Callao. En cada perfil las abundancias fueron promediadas. No hay data del perfil Callao en otoño.

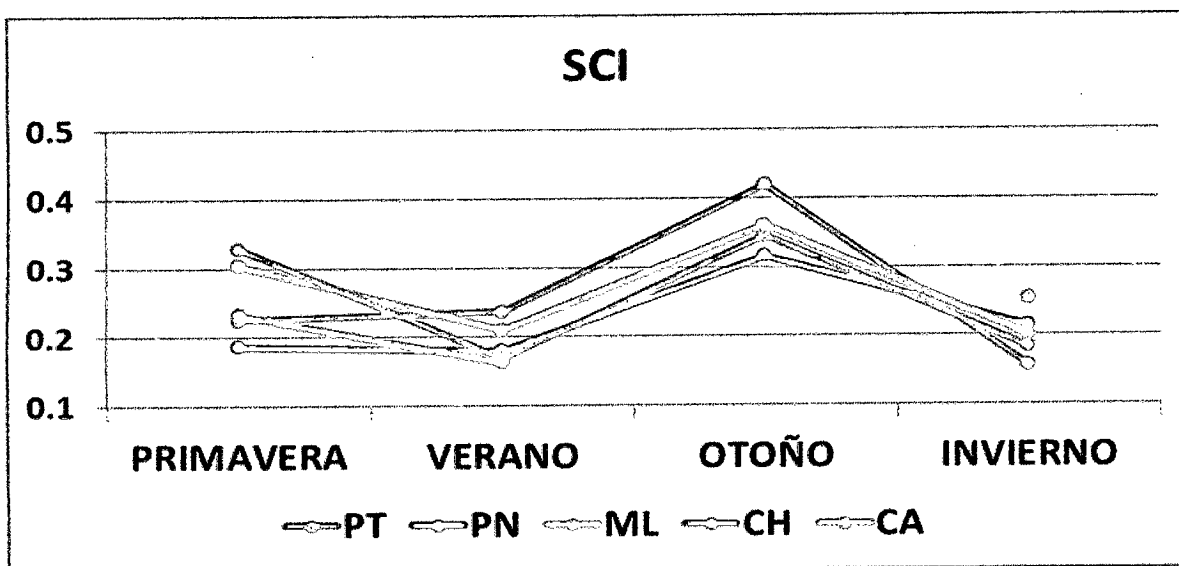


Fig. 11. Variación temporal del Índice de clases de tamaños (SCI) por perfiles oceanográficos: PT Paita, PN Punta La Negra, ML Malabrigo, CHI Chimbote y CAL Callao. En cada perfil los SCI fueron promediados. No hay data del perfil Callao en otoño.

Para el caso del índice de clases de tamaño (SCI), los patrones espacio-temporales fueron más definidos. En los cuatro perfiles más septentrionales se observó un ligera disminución del índice en verano y luego un incremento drástico en otoño para finalmente volver a descender en invierno. No se tomó en cuenta el perfil Callao por carecer de data completa (Fig. 11).

En este estudio, la variabilidad espacial respecto a los espectros de tamaños de biovolumen normalizado del mesozooplankton también fue considerable. En la Fig. 12a. se observa una notable variación entre las densidades promedio de las estaciones norteñas con las del centro. Una prueba de Mann Whitney demostró que

tal variación fue significativa (Tabla 6). El norte presentó las abundancias más altas y las pendientes más positivas, en cambio, el centro mostró densidades más bajas y pendientes ligeramente más negativas. Los datos de los espectros generales son mostrados en la Tabla 4. En relación al índice de clases de tamaño (SCI), éste siguió similar patrón cuando se evaluó la distribución temporal, hubo predominancia de las clases de tamaños pequeñas sin sustentar variación significativa entre las estaciones norteñas y del centro (Tabla 6); por lo tanto, los promedios fueron muy estrechos (Fig. 12b).

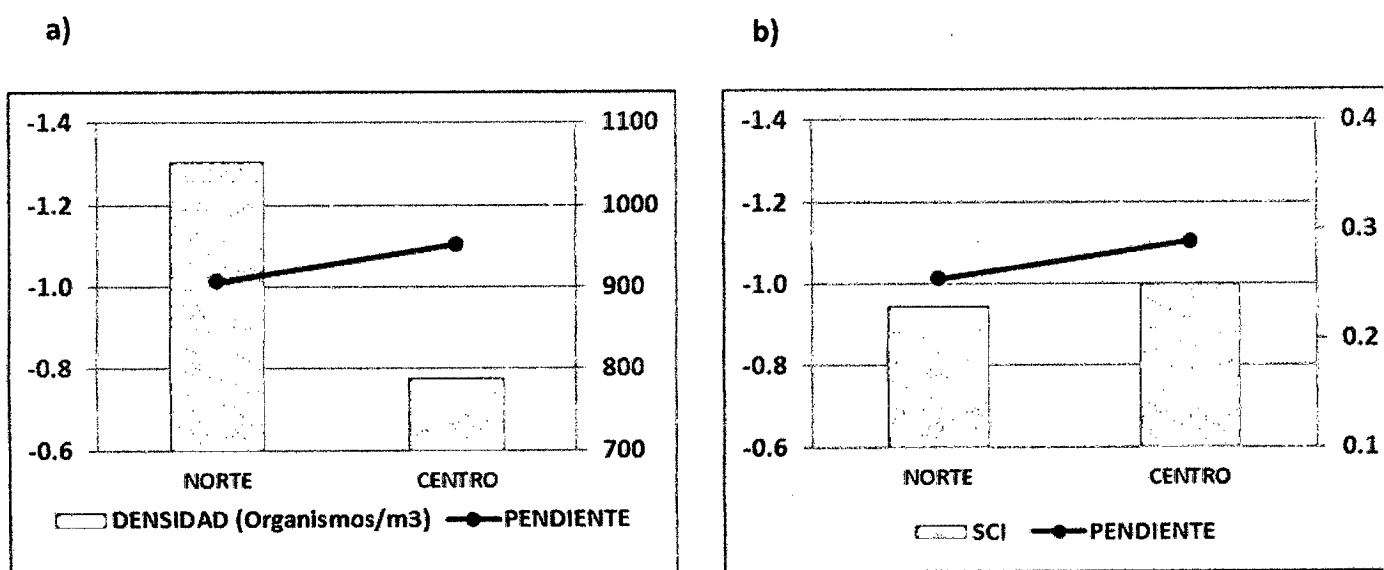


Fig. 12. a) Densidad y b) SCI vs. Pendientes en relación a la latitud entre 2008 y 2009. La densidad, SCI y pendientes para cada periodo fueron promediadas.

Cuando hablamos de la variabilidad espacial en la estructura de la comunidad del mesozooplankton en el mar peruano, este punto se tornó más evidente cuando se analizó estaciones costeras y oceánicas. Tanto las pendientes como las densidades fueron significativamente diferentes entre los dos ambientes (Tabla 6). Los datos en los espectros generales son mostrados en la Tabla 5. La zona oceánica exhibió las más altas abundancias de mesozooplankton con respecto a la zona nerítica (Fig. 13a). Los valores del SCI fueron similares (Fig. 13b)

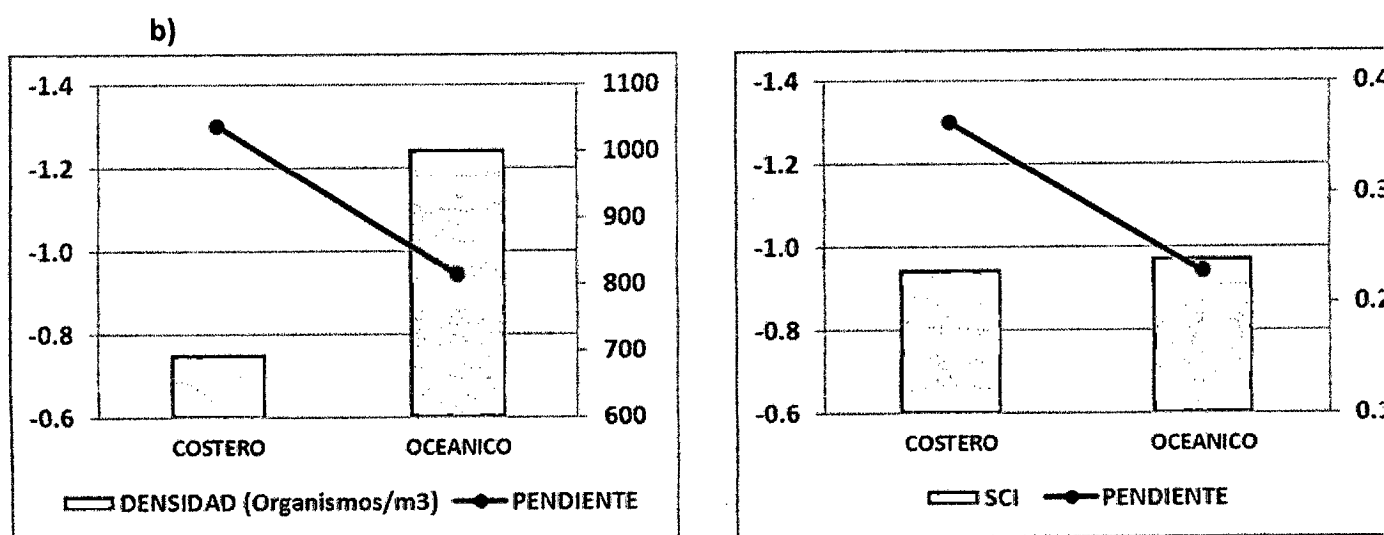


Fig. 13. a) Densidad y b) SCI vs. Pendientes en relación a la distancia a la costa entre 2008 y 2009. La densidad, SCI y pendientes para cada periodo fueron promediadas.

Tabla 4. Valores promedio de las pendientes, coeficientes de regresión e interceptos de las funciones lineales que fijan los espectros de tamaños de biovolumen normalizado del mesozooplancton en relación a la latitud geográfica.

Latitud	Pendiente		Intercepto		r^2	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio
Norte	-0,52; -2,50	-1,01	0,14; 2,45	1,72	0,597; 0,984	0,871
Centro	-0,35; -3,46	-1,10	-0,76; 2,26	1,41	0,478; 0,981	0,806

Tabla 5. Valores promedio de las pendientes, coeficientes de regresión e interceptos de las funciones lineales que fijan los espectros de tamaños de biovolumen normalizado del mesozooplancton en relación a la distancia de la costa.

Distancia a la costa	Pendiente		Intercepto		r^2	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio
Costero	-3,46; -0,66	-1,3	-0,76; 2,26	1,13	0,49; 0,981	0,826
Oceánico	-1,46; -0,35	-0,93	0,56; 2,45	1,68	0,478; 0,984	0,840

Tabla 6. ANOVA de una vía para examinar la influencia de las variables periodo, latitud y distancia a la costa en la abundancia y parámetros (pendiente, intercepto y SCI) del espectro de tamaños del mesozooplancton en el norte y centro del Perú.

Variable	Parámetro	Grados de Libertad	P-value
Periodo	Abundancia	3	0,13
	Pendiente	3	0,00*
	Intercepto	3	0,19
	SCI	3	0,00*
Latitud	Abundancia	1	0,07
	Pendiente	1	0,97
	Intercepto	1	0,03*
	SCI	1	0,54
Distancia a la Costa	Abundancia	1	0,01*
	Pendiente	1	0,03*
	Intercepto	1	0,00*
	SCI	1	0,10

(*) Es significativo

IV. DISCUSIÓN

Del total de organismos escaneados, aproximadamente un 80% fueron copépodos y por lo tanto los organismos más abundantes en el norte y centro del litoral peruano para el periodo evaluado (observación personal). Entre los 6°S y 12°S de la costa peruana, Carrasco y Santander (1987) encontraron que durante condiciones normales, los copépodos fueron los más abundantes. Gutiérrez (2005), en su trabajo desde Paita a San José, reportó que cerca del 98 % del zooplancton fueron crustáceos, siendo los copépodos los más abundantes. También Bonicelli (2006), en los años 1996 y 1998 encontró que los copépodos fueron los más abundantes y frecuentes en el centro y sur del Perú, representando más del 70% del total de zooplancton.

Otros trabajos en el Perú han sugerido que los principales grupos del zooplancton son los copépodos, eufásidos y quetognatos (Ayón y Girón, 1997; Ayón y Aronés, 1997 a, b; Ayón *et al.*, 1996; Ayón y Girón, 2004). En Chile, copépodos y eufásidos también son los principales contribuyentes a la biomasa del zooplancton y producción secundaria en la zona de afloramiento (Peterson *et al.*, 1988; Castro *et al.*, 1993; Escribano *et al.*, 2003., Linacre y Palma, 2004). En costas europeas, como en Bahía Biscay (Francia), utilizando un contador de partículas (OPC) para analizar la distribución espacial del zooplancton, los copépodos fueron los más abundantes comprendiendo un 70% a 90% del total de partículas.

A pesar de estos trabajos, el estudio del zooplancton no ha sido prioridad en relación a los innumerables trabajos sobre fitoplancton y fauna marina; debido a que el muestreo, la identificación manual y el conteo de las poblaciones son etapas que demandan de mucho tiempo y de una ardua labor limitando el número de muestras que pueden ser procesadas (Grosjean *et al.*, 2004). En este contexto, el análisis automatizado de muestras de zooplancton usando imágenes digitales ha adquirido mucho interés en la actualidad por la posibilidad de obtener una rápida información sobre la estructura de tamaños, la distribución espacio-temporal y la taxonomía de las comunidades zooplanctónicas frente al análisis tradicional en microscopio (Manríquez *et al.*, 2009).

En el presente estudio se empleó el sistema ZooScan y los resultados alentadores que se obtuvieron en diferentes sistemas marinos donde se usó (Grosjean *et al.*, 2004; Gorsky *et al.*, 2010; Schultes y Lopes, 2009; Manríquez, 2009), llevó a procesar un gran número de muestras del mar peruano mediante esta nueva tecnología que produce medidas útiles de abundancia, biomasa y espectro de tamaños e incluso clasificación taxonómica de las especies, que en este estudio por limitaciones de la baja calidad de las imágenes de los organismos pequeños se realizó de forma manual.

Gorsky *et al.*, (2010) validó diferentes mediciones automáticas del ZooProcess con mediciones manuales de imágenes de mesozooplancton y encontraron relaciones

lineares significativas (pendientes cercanas a 1); por ejemplo, entre el diámetro Feret proporcionado por el equipo y la longitud total del organismo medida manualmente. Sólo en el caso de apendicularias y quetognatos, la pendiente fue menor a 1 debido a la forma curvada de estos organismos. Esto hace suponer, que los resultados dependerán de la forma y posición que adopten los especímenes en el escáner llevando a una sobre o subestimación de las mediciones que en la mayoría de los casos resulta no significativa.

Gorsky *et al.*, (2010) también relacionó mediciones automáticas de los ejes elípticos mayor y menor (usados en este estudio para hallar el biovolumen) con mediciones manuales mostrando una mayor disparidad entre los resultados en relación al caso anterior. Esto se debe a un efecto de diferentes técnicas de medición (Shultes y Lopes, 2009) ya que en el microscopio, los ejes mayor y menor son evaluados del prosoma (Uye, 1982 en Shultes y Lopes, 2009), mientras que en el ZooScan, son estimados desde la mejor elipse que fija la misma área como región de interés incluyendo la rama caudal y antenas.

Entonces una aparente sobreestimación del biovolumen por el ZooScan se da, al ser calculado éste a partir del área de dos dimensiones del organismo en la imagen, asumiendo una forma esferoide perfecta. En realidad, muchos de los organismos no son geoméricamente cuerpos homogéneos por lo que el área variará dependiendo de la orientación del zooplankton en la celda del escáner y en la detección precisa de apéndices (Shultes y Lopes, 2009).

Muchos de los grupos del zooplancton presentan variedad de formas; por ejemplo, eufásidos cónicos, pyrosomas cilíndricos, ostrácodos discoides, quetognatos alargados (Beaulieu *et al.*, 1999), en el que su biovolumen podría ser sobreestimado en ciertos casos debido a que su cálculo parte de una figura elipsoidal, similar al cuerpo de un copépodo (Rolke y Lenz, 1984) y adoptado en este estudio. Shultes y Lopes (2009) demostraron que el ZooScan proporciona una tasa más baja de los ejes mayor: menor que la determinada en mediciones con microscopio en pruebas con granos de arroz y copépodos calanoideos lo que condujo a un incremento en biovolumen por individuo del 5% y 67%, respectivamente. Para algunos autores los resultados obtenidos del ZooScan son consistentes y reproducibles aunque los valores difieran ligeramente de los determinados manualmente (Gorsky *et al.*, 2010).

De todas formas, es necesario que cada estudio cuente con validaciones propias de las mediciones que se emplearán en el análisis, incluso se podría trabajar con un factor de corrección. Sourisseau y Carlotti (2006) incrementaron en 15% el valor del ESD (diámetro equivalente esférico) obtenido del OPC-1L (Optical Plankton Counter) en muestras donde los copépodos dominaron hasta en un 90%.

El estudio del zooplancton es tradicionalmente conducido en muestras preservadas de arrastres de red. El ZooScan por su capacidad de estimar el tamaño de un organismo, permite una rápida determinación de la biomasa y el espectro de tamaños en muestras colectadas con red y mediante el uso de modelos matemáticos se podría llegar a expresar y entender procesos poblacionales y relaciones tróficas

dentro de la comunidad zooplanctónica (Platt y Denman, 1978; Zhou y Huntley, 1997). Por el tamaño de red (200 μm) se eligió al mesozooplankton como grupo de estudio, sustentado en la capacidad que tiene el ZooScan para examinar organismos que van desde los 200 μm a varios centímetros (Gorsky *et al.*, 2010).

Sin embargo, Gallienne y Robins (2001) mostraron que el uso de una red de plancton de 200 μm induce a una subestimación de las clases de tamaños más bajas que 500 μm de ESD, siendo éstas las que representan la mayor parte de la comunidad en términos de abundancia. En Shultes y Lopes (2009), los espectros de biomasa normalizada del ZooScan mostraron con frecuencia un máximo en la clase de biomasa equivalente a 487 μm ESD, siendo interpretado como el límite más bajo de la eficiencia de la retención por la red de 200 μm . Por lo tanto, fijar límites inferior (0,064 mm^3) y superior (65,536 mm^3) en las clases de tamaño como se hizo en este trabajo es conveniente incluso para efectos de comparación entre espectros de diferentes ambientes o épocas.

La clasificación de plancton en base al tamaño simplifica enormemente la estructura de la comunidad (Zhou, 2006) y se convierte en un índice global que puede ser relacionado teóricamente a la capacidad de producción del ecosistema (Platt y Denman, 1977; Zhou y Huntley, 1997). Esto ha dado lugar al desarrollo de teorías del espectro de biomasa que intentan explicar la estructura trófica de comunidades como la del mesozooplankton (Basedow *et al.*, 2010) y la pendiente que se genera de tal espectro guarda importante información que puede relacionarse al crecimiento,

mortalidad y niveles tróficos dentro de una comunidad planctónica (Zhou, 2006). Estos modelos exploran el flujo de biomasa desde los más pequeños a grandes organismos dentro de la red trófica (San Martín *et al.*, 2006).

Los espectros de las 94 estaciones mostraron que hay una relación lineal log-log entre la biomasa normalizada (expresada en términos de biovolumen en este trabajo) y el biovolumen de los organismos del mesozooplankton del norte y centro del litoral peruano y de esta manera las pendientes derivadas pueden ser consideradas descriptores idóneas para la estructura de tamaños de la comunidad de zooplankton bajo estudio. Al obtener una pendiente promedio de -1,11 a partir de las 94 estaciones evaluadas, los espectros de tamaños se ajustaron a las predicciones del modelo de Platt y Denman (1977, 1978) a pesar de que estos autores fijaran su modelo teórico para un ecosistema con condiciones estables (steady-state). Ellos señalaron que los espectros donde la biomasa es aproximadamente distribuida uniformemente sobre clases de tamaños logarítmicas, será lineal con una pendiente nominal de -1 ó -1,22, dependiendo si es expresada en volumen o contenido de carbono, respectivamente (San Martín *et al.*, 2006).

Las unidades en la que se expresa un espectro de tamaño se torna relevante cuando la pendiente del modelo de Sheldon (Sheldon *et al.*, 1972) después de su conversión a unidades de carbono da -1,16 y cae en el rango que propone Platt y Denman (Platt y Denman, 1977, 1978), entre -0,82 y -1,23 (Quinones *et al.*, 2003). Por lo tanto, la piedra angular de la teoría del espectro de tamaños es la simplicidad funcional y la linealidad del espectro de tamaño de biomasa normalizado en un

sistema cercano a condiciones estables (steady-state) y no el valor numérico de la pendiente (Rodríguez y Mullin, 1986; Zhou, 2006; Quinones *et al.*, 2003).

Muchos de los trabajos que han intentado examinar los modelos teóricos de Platt y Denman (1977, 1978) o el de Sheldon *et al.*, (1972, 1973) se han restringido a zonas eufóticas de sistemas oceánicos oligotróficos, estables (Rodríguez y Mullin, 1986; Quinones *et al.*, 2003) muy cercanos al ecosistema no real de condiciones estables (steady-state) propuesto por las teorías. Por lo tanto, sistemas costeros, zonas de afloramiento, zonas templadas, zonas polares o regiones abisales son diferentes casos y la estructura de tamaños de sus comunidades planctónicas debería evaluarse con el fin de obtener patrones que caractericen a dichos ecosistemas. Un 11% de los espectros no se ajustaron al modelo lineal ($P > 0,5$).

Esto podría deberse a la condición altamente productivo del Sistema de Humboldt, a la estacionalidad en la que se llevó a cabo este estudio o a mecanismos biológicos referidos a la dinámica poblacional de especies dominantes. Sourisseau y Carlotti (2006) revelaron la no linealidad de sus espectros de tamaños en la plataforma continental de la bahía de Biscay y lo asociaron a la dominancia de algunas especies de *Calanus* como el responsable de esa forma de distribución. La no linealidad proporciona información adicional sobre el espectro ya que indica abundancia en alguna clase de tamaño en particular; el cual, es diferente a las densidades esperadas en un estado de equilibrio (steady state).

Los estudios de espectros de biomasa en lagos y océanos han demostrado que la relación entre espectro de biomasa de una comunidad planctónica y el tamaño del cuerpo es siempre lineal. In situ observaciones de espectros de biomasa exhiben que las pendientes varían desde -0,6 en el lago Superior (Zhou *et al.*, 2001), -0,9 a -1,16 en lagos (Sprules y Munavar, 1986), -1,23 para microplancton y -1,13 para macrozooplancton en el Giro Central del Pacífico Norte (Rodríguez y Mullin, 1986), a -1,5 en la corriente de California (Huntley *et al.*, 1995; Zhou y Huntley, 1997).

Un trabajo cercano al nuestro por poseer condiciones similares del área evaluada es el de Manríquez *et al.*, (2009). Ellos evaluaron la zona sur de Chile (Concepción) y corroboraron la linealidad para la mayoría de las 44 estaciones que evaluaron, siendo muy significativas con $r^2 > 0,5$ y $P < 0,01$. Su rango de pendientes estuvo entre -0,16 y -1,8 y el promedio anual varió en un rango más estrecho, alrededor de -0,48. Nuestro rango más amplio (-0,35 y -3,46) y con un promedio de pendientes anual más alto podría deberse a que nuestra zona evaluada abarcó tanto la zona costera - oceánica y la zona norte - centro del litoral peruano; en cambio, en Chile se realizó en una sola estación en un tiempo mayor al nuestro.

La mayor parte de los espectros de tamaños no mostraron desviaciones significativas del modelo lineal; por lo tanto, un espectro de biovolumen normalizado fue el apropiado para describir la distribución de biomasa por tamaños en todas las estaciones y la pendiente derivada de tales espectros se consideró como un buen descriptor de la estructura de tamaños de la comunidad mesozooplancónica bajo

estudio. La no linealidad en algunas estaciones pudo deberse a la gran variabilidad temporal y espacial de la distribución del zooplancton en zonas de afloramiento costero. (Peterson *et al.*, 1998 en Manríquez *et al.*, 2009).

Las pendientes de primavera e invierno fueron significativamente diferentes a las del verano y otoño ($P=0,00$) y por lo tanto mostraron una fuerte variabilidad a lo largo de un año. Estos cambios muchas veces pueden ser el resultado de procesos biológicos pero también de procesos físicos cuyas variaciones pueden ser estacionales y obedecen principalmente a cambios en la dirección y velocidad de los vientos, los cuales, afectan la intensidad de afloramiento y la circulación costera en el mar peruano (Ayón *et al.*, 2008). De esta manera, los cambios en la comunidad zooplanctónica asociados con el régimen de afloramiento pueden obedecer a patrones estacionales del ciclo de vida de las especies dominantes (Manríquez *et al.*, 2009). Algunos grupos, tales como eufásidos y copépodos de gran tamaño son conocidos por emparejar sus ciclos de vida con cambios estacionales (Conover, 1998; Iguchi e Ikeda, 2004). En consecuencia, varios estudios han demostrado que cambios ambientales pueden afectar el espectro de tamaño de la comunidad y en tanto reflejarse en el valor de la pendiente (Suthers *et al.*, 2006, Sourisseau y Carlotti, 2006; Manríquez *et al.*, 2009).

Sabiendo que fueron los copépodos el grupo que dominó los espectros de tamaño obtenidos (según análisis cualitativo es probable que sean los copépodos de menor

tamaño) y conociendo que algunos taxones importantes como copépodos y eufásidos exhiben ciclos de vida relacionados a patrones estacionales similares a las anchovetas que liberan larvas estacionalmente (Santander y Flores, 1983), otro proceso físico intenta explicar los cambios temporales en la estructura del zooplancton, incluso en una escala de tiempo menor. Es muy probable que cambios en el espectro de tamaños ocurran debido al ingreso o intercambio de zooplancton de gran tamaño a las capas superficiales dirigidos por advección de aguas oceánicas o más profundas. Por lo tanto, un estudio temporal y espacial a menor escala parece necesario para observar y entender la dinámica temporal de la comunidad zooplanctónica en esta área caracterizada por una gran diversidad de eventos físicos y comunidades de zooplancton.

Otra posibilidad biológica, a menor escala y que contribuye a la variabilidad temporal del zooplancton es la migración estacional dentro de la zona de afloramiento de zooplancton de gran tamaño (Castro *et al.*, 1993, Sourisseau y Carlotti, 2006). Sin embargo, la migración vertical de los organismos podría ser responsable de la variabilidad de la estructura de tamaños sólo para estaciones oceánicas (mayor a 200 m de profundidad). Si bien, el muestreo fue estandarizado para los primeros 50 m de la columna de agua y realizado en el día, este proceso podría ser relevante en este estudio e introducir sesgos significativos ya que la mayoría de estaciones fueron oceánicas debido al poco ancho de la plataforma continental en la mayor parte de la costa a excepción del perfil Chimbote. Esto podría explicar los resultados de Manríquez *et al.*, (2009) para la zona sur de Chile en comparación con los de este

estudio donde sus pendientes fueron más negativas que las nuestras en promedios anuales, debido a que su columna de agua muestreada fue de 90 m (malla fue de 200 μ m y los muestreos en el día), aunque no son comparables del todo debido a que su muestreo fue mensual y en una sola estación costera.

La aparición de zooplancton de gran tamaño (nueva taxa o estados más viejos) residiendo normalmente en aguas más oceánicas o más profundas dentro de la zona más superficial sustentan las pendientes más positivas de Manríquez *et al.* (2009) en época de afloramiento y repercuten en un espectro menos empinado. Escribano *et al.*, (2007, 2009) mencionan que grandes copépodos tales como la familia Eucalanidae (>4 mm) y eufásidos (>10 mm) usualmente habitan en capas más profundas (>50m) en zonas de afloramiento o que puedan exhibir distribución vertical ontogénica tal que estadios más viejos tienden a residir a una mayor profundidad siendo capaces de resistir bajos niveles de oxígeno.

Esto podría explicar las mayores pendientes obtenidas en este estudio en verano (espectros menos empinados) ya que el intercepto y el SCI promedio para este periodo son los más altos y más bajos, respectivamente, en comparación con las otras estaciones. Es más, Manríquez *et al.*, (2009) menciona que el incremento de la pendiente del espectro de tamaño y diversidad de taxa parece una consecuencia directa del afloramiento, debido a la correlación positiva entre este parámetro con cambios en la profundidad de la OMZ, ya que este sistema en zona de afloramiento es un componente clave que puede causar la convergencia y fuerte agregación del

zooplancton en la zona fótica (Thiel *et al.*, 2007). La información del buque de verano sustenta lo mencionado, ya que fue en verano donde la OMZ estuvo a una menor profundidad (<50m) (Informe Técnico, IMARPE 2009).

En el Pacífico Tropical este, una subsuperficial OMZ (Pennington *et al.*, 2006) tiene un profundo impacto en la distribución de animales pelágicos y limitan el espacio disponible para la vida aeróbica. El límite de la profundidad de la OMZ es a menudo identificado como la profundidad de 0,5 mL⁻¹ (Escribano *et al.*, 2000) o de 1 mL⁻¹ (Hidalgo *et al.*, 2005; Criales-Hernández *et al.*, 2008) de la isolínea del oxígeno. En regiones de afloramiento costero, aguas hipóxicas pueden alcanzar solo unos pocos metros de la superficie (Wyrski, 1966; Judkins, 1980; Escribano *et al.*, 2004). La OMZ pareció haber sido un factor importante, que afecta la estructura y modifica la distribución vertical del zooplancton sobre la plataforma y talud continental del norte y centro Perú y en época de verano. Trabajos en el mar peruano muestran que la disminución en profundidad de la OMZ en la costa resultó en grandes concentraciones del mesozooplancton cerca a la superficie en comparación a estaciones oceánicas. Sólo dos especies fueron capaces de ocupar la OMZ: *Eucalanus inermis* y *Euphausia mucronata* (Semenova *et al.*, 1982). Antezana (1978, 2002 a,b) mostró que larvas y juveniles de *Euphausia mucronata* están siempre en la capa superficial, mientras que los adultos pasan los días en el OMZ y migran al superficie en la noche. Santander *et al* (1981, a) encontraron que *Eucalanus inermis*, *Euaetideus bradyi*, *Rhincalanus nasutus*, amphípodos y ostrácodos se encuentran

principalmente entre los 50 y 100 m, donde el contenido de oxígeno fue menor a 0,5 ml L⁻¹.

Ya que la producción primaria y secundaria es soportada por aguas frías de afloramiento ricas en nutrientes, abundancias máximas de fitoplancton y zooplancton deberían ocurrir en invierno. Si bien las abundancias no variaron significativamente por periodo, ligeramente se obtuvo mayores densidades en invierno. Sin embargo, otros trabajos en el mar peruano como los de Ayón *et al.*, (2004) y Aronés *et al.*, (2008), encontraron que las mayores abundancias de zooplancton se dieron en primavera y otoño relacionando sus resultados con un afloramiento de intensidad moderada para esas dos estaciones. No obstante, sus conclusiones se restringieron sólo a una década de estudio no encontrando el mismo patrón en otras décadas o como en el segundo trabajo, se enmarcaron sólo a un perfil costero, en este caso Paita.

Por otro lado, las abundancias altas en verano podrían explicarse cuando las masas de agua del norte (AES) y oceánicas (ASS) se trasladan hacia el sur y se acercan a la costa debido a que traen consigo comunidad zooplanctónica más abundante y se incrementa en el mar peruano (Bonicelli, 2009). Esto quedó corroborado ya que las abundancias del norte respecto a las del sur y de lo oceánico respecto a lo nerítico fueron significativamente más altas.

Similar patrón siguieron los biovolúmenes del mesozooplancton; fueron significativamente más elevados tanto en la zona oceánica como en la zona norte.

Estos resultados concuerdan con los de Ayón *et al.*, (2004, 2008) quienes reportaron que las masas de aguas oceánicas poseen altos biovolúmenes y que pueden ser explicados por el gran tamaño o la alta abundancia de las especies. D'Elbée (2001) identificó en el área Capbreton (Francia) copépodos de talla pequeña (*Acartia* sp., *Oithona* sp., *Oncaea* sp.) en el área costera y copépodos grandes (*Calanus* sp., *Anomalocera* sp., *Candacia* sp.) para el área oceánica. Asimismo, los análisis de muestras realizados en las estaciones costeras de Paita, San José y Callao, demostraron que las mayores abundancias y biovolúmenes se encontraron principalmente entre los 4°S y 6°S en Paita y esto debido probablemente a la influencia de masas de agua tropicales (AES) que traen consigo nuevas especies y de mayor tamaño (Santander 1981, Ayón *et al.*, 2004). Estos resultados quedan aún mejor evidenciados, ya que en la distribución temporal de los biovolúmenes del mesozooplankton, el verano albergó los mayores valores significativamente diferentes al resto de estaciones. Para el hemisferio boreal, Rodríguez y Mullin (1986) también encontraron un incremento de la biomasa en el verano.

Los resultados de la distribución temporal y espacial de los biovolúmenes fueron corroborados con los valores del intercepto hallados en cada espectro de las 94 estaciones monitoreadas. El intercepto "Y" ($X=0$) es una medida general de la abundancia de los organismos en la comunidad (Sprules y Munawar, 1986; Quinones *et al.*, 2003).

La interpretación de la distribución temporal de las pendientes a lo largo de un año se evidencia en la Fig. 6. Se observa claramente que hay una distribución de tallas más homogénea en el espectro de verano y en la que se observa una mayor cantidad de organismos ubicados en clases de tamaño más grandes en relación a los otros tres periodos. Invierno, si bien presenta las más altas abundancias, estos organismos se distribuyen en clases de tamaño más pequeños originando una pendiente más empinada y por lo tanto más negativa. Estos resultados concuerdan con lo mencionado anteriormente ya que la incursión de nuevas especies de tallas mayores o estadios más avanzados en verano provenientes de masas de agua más ecuatoriales u oceánicas o por la elevación del OMZ origina un espectro menos empinado.

Una variabilidad espacial de la pendiente es también evidente. Si bien, en relación a la latitud, las pendientes de la zona norte y zona centro no fueron significativamente diferentes, el norte mostró ligeramente pendientes más positivas. En relación a la distribución horizontal, sí se observó un gradiente nerítico/oceánico de los valores de la pendiente mostrando diferencias significativas entre ambas zonas. Una vez más, estos resultados indican que los espectros normalizados de biomasa son útiles para dilucidar cambios en la estructura de tallas del mesozooplankton tanto en una distribución temporal como espacial. Las pendientes más positivas en la zona norte como en las estaciones oceánicas indicarían presencia de tallas mayores ya sea por la incursión de nuevas especies de tallas grandes o de estadios más desarrollados y por lo tanto habrá una distribución de tallas más uniforme dentro de esas comunidades.

V. CONCLUSIONES

La comunidad del mesozooplankton del norte y centro del Perú fue diversa. La clase Copépoda presentó el mayor número de especies (70% del total), seguido de la clase Malacostraca. Los calanoideos fue el grupo con más especies dentro de la clase Copepoda, mientras que los anfípodos y eufásidos lo fueron para la clase Malacostraca.

Se evidenció una marcada distribución temporal de la estructura de tamaños del mesozooplankton en el norte y centro del Perú al obtener diferencias significativas entre las pendientes de las cuatro estaciones: primavera 2008, verano, otoño e invierno 2009.

Verano e invierno fueron las estaciones que mostraron un patrón de tallas significativamente diferente al resto de estaciones. Exhibieron las pendientes más positivas y negativas del estudio, respectivamente.

Diferencias significativas entre los espectros de tallas de la zona oceánica y nerítica fue evidente. Las estaciones oceánicas mostraron los espectros menos empinados del estudio.

Los espectros de tamaño tanto de la zona norte como de la zona centro no difirieron significativamente; sin embargo, las pendientes de la zona norte fueron más positivas. Este patrón, de pendientes más positivas en la zona norte como en las estaciones oceánicas indicaría presencia de tallas mayores, ya sea por la incursión de nuevas especies con tallas grandes o de estadios más desarrollados. Por lo tanto, habrá una distribución de tamaños más uniforme dentro de esas comunidades.

VI. RECOMENDACIONES

Continuar probando equipos automatizados para el análisis de muestras de mezozooplankton, probando sus ventajas y desventajas ya sean con equipos semiautomatizados como el ZooScan o con equipos que evalúan in situ como el OPC (Optical Counter Plankton) o LOPC que es el Laser Optical Counter Plankton.

Realizar validaciones de las mediciones de los equipos en grupos de zooplankton que presenten formas diferentes a la elipsoide de un copepodo y así poder evaluar si las diferencias son o no significativas con las mediciones que se realizan automáticamente

Evaluar los cambios espaciotemporales en la estructura de la comunidad del mesozooplankton para entender procesos de evolución de cohortes o procesos de la migración de este grupo

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abramoff, M.D., Magelhaes, P. J. and Ram, S, J. 2004. Image Proovessing with Image J. *Biophotones Int.*, 11, 36-42.
- APHA/AWWA/WEF. 2012. Standard methods for the examination of water & wastewater. 21st Edition. Centenal Edition. USA. Edited by Andrew D. Eaton; Lenore S. Clesceri; Eugene W. Rice; Arnold E. Greenberg.
- Aronés, K., Ayón,P., Hirche, H.J., Schwamborn, R. 2009. Hydrographic structure and zooplankton abundance and diversity off Paita, northern Peru (1994 to 2004) — ENSO effects, trends and changes. *Journal of Marine Systems*, 1-17
- Ayón, P., Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., Bertrand, S. 2008. Zooplankton and forage fish species off Peru: Large-scale bottom-up forcing and local-scale depletion. *Progress in Oceanography*. 79(2-4), 208–214.
- Ayón, P., Purca, S., and Guevara, R.2004. Zooplankton volume trends off Peru between 1964 and 2001. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 478-484
- Blanco, J. M., Echevarria, F., and Garcia, C. M. 1994. Dealing with size-spectra: some conceptual and mathematical problems, *Sci. Mar.*, 58(1–2), 17–29.
- Basedow, S. L., Tande, K. S., and Zhou, M. 2010. Biovolume spectrum theories applied: spatial patterns of trophic levels within a mesozooplankton community at the polar front. *Journal of Plankton Research*, 32,1105-1119.

- Beaulieu, S. E., Mullin, M. M., Tang, V. T., Pyne, S. M., King, A. L., Twining, B. S. 1999. Using an optical plankton counter to determine the size distributions of preserved zooplankton samples. *Journal of Plankton Research*, 21,1939-1956.
- Benfield, M. C., Grossjean, P., Culverhouse, P. et al. (2007) RAPID: research on automated plankton identification. *Oceanography* , 20, 12–26.
- Boltovskoy, D. 1999. South Atlantic Zooplankton. Backuys Publishers, Leiden. Holanda. Vol 1: 1 – 868; Vol 2: 869 - 1706.
- Bonicelli, J. 2008. Distribución espacial, composición específica, abundancia y diversidad del zooplancton en la costa peruana durante los años 1996 y 1998. Tesis para optar el título de biólogo. UNALM. Lima, Perú. 1- 54.
- Castillo, R. 2004. Composición específica, distribución y abundancia de ostrácodos epipelágicos en el mar peruano durante los años 1998 y 2001. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Criales, M. I., Schwamborn, R., Graco, M., Ayón, P., Hirche, H. J., Wolv, M. 2007. Zooplankton vertical distribution and migration oV Central Peru in relation to the oxygen minimum layer. *Helgol Mar Res* (2008) 62 (Supl 1):S85–S100
- Edwardsen, A., Zhou, M., Tande, K. S., and Zhu, Y. 2002. Zooplankton population dynamics: measuring in situ growth and mortality rates using an optical plankton counter, *Marine Ecology Progress Series*, 227, 205–219.

- Gorsky, G., Guilbert, P. and Valenta, E. (1989) The autonomous image analyzer: enumeration, measurement and identification of marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 58, 133–142.
- Gorsjean, P., Pichearl, M., Warembourg, C., and Gorsky, G. 2004. Enumeration, measurement, and identification of net zooplankton samples using the ZooScan digital imaging system. *ICES Journal of Marine Science*, 61, 518-525.
- Gorsky, G., Ohman, M. D., Picheral, M., Gasparine, S., Stemmann, L., Romagnan, J. B., Cawood, A., Pesant, S., García-Comas, C., and Prejger, F. 2010. Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. *Journal of Plankton Research*, 32,285-303.
- Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H.R., Huntley, M., 2000. ICES Zooplankton Methodology Manual. Academic Press, London
- Heath, M. R.1995. Size spectrum dynamics and planktonic ecosystem of Loch Linnhe, *Journal of Marine Science*, 52, 627–642.
- Herman, A. W. 1988. Simultaneous measurement of zooplankton and light attenuation with a new optical plankton counter, *Cont. Shelf Res.*, 8, 205–221.
- Herman, A. W. 1992. Design and calibration of a new optical plankton counter capable of sizing small zooplankton.*Deep-sea Res.*, 39,395-
- Herman, A. W., Beanlands, B. and Phillips, E. F. (2004) The next generation of optical plankton counter: the Laser-OPC. *J. Plankton Res.*, 26, 1135–1145.

- Kerr, S. R. (1974), Theory of size distribution in ecology communities, *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 31(12), 1859–1862
- Jefferies, H. P., Berman, M. S., Poularikas, A. D. et al. (1984) Automated sizing, counting and identification of zooplankton by pattern recognition. *Mar. Biol.*, 78, 329–334.
- Lam-Hoai, T., Guiralb, D., and Rougiera, C. 2006. Seasonal change of community structure and size spectra of zooplankton in the Kaw River estuary (French Guiana). *El Sevier*, 68, 47-61.
- Legendre, L., Rivkin, R.B., 2002. Fluxes of carbon in the upper ocean: regulation by food-web control nodes. *Marine Ecology Progress Series* 242, 95–109.
- Manfred, R., and Lenz, J. 1984. Size structure analysis of zooplankton samples by means of an automated image analyzing sistem. *Journal of Plankton Research*, 6,637-645.
- Manríquez, K., Escribano, R., and Hidalgo, P. 2009. The influence of coastal upwelling on the mezooplankton community structure in the coastal zone off Central/Southern Chile as assessed by automated image analysis. *Journal of Plankton Research*, 31,1075-1088.
- Platt, T., and Q. Denman (1977), Organisation in the pelagic ecosystem, *Helgoländer Meeresun.*, 30, 575–581.

- Platt, T. and Denman, K. (1978) The structure of pelagic marine ecosystems. Rapports et Proces-verbaux des Reunions. Conseil International pour l'Exploration de la Mer 173,60–65.
- Parsons, T.R.: 1969, 'The use of particle size spectra in determining the structure of a plankton community', J. Oceanogr. Soc. Japan, 25, 172-181.
- Peters, R.H., 1983. The Ecological Implications of Body Size. Cambridge University Press, Cambridge.
- Quinones, R. A., Platt, T. and Rodríguez, J. 2003. Patterns of biomass-size spectra from oligotrophic waters of the Northwest Atlantic. *Progress in Oceanography*, 57, 405-427.
- Rasband, W. S. 2005. Image J. U. S. National Institutes of Health. Bethesda. MD, USA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>.
- Rodríguez, J., and Mullin, M., (1986), Relation between biomass and body weight of plankton in a steady state oceanic ecosystem, *Limnology and Oceanography*, 31, 361–370.
- Roy, S., Silverberg, N., Romero, N., Deibel, D., Klein, B., Savenkoff, C., Ve´zina, A.F., Tremblay, J.-E., Legendre, L., Rivkin, R.B., 2000. Importance of mesozooplankton feeding for the downward flux of biogenic carbon in the Gulf of St. Lawrence (Canada). *Deep-Sea Research II* 47, 519–544.
- San Martin, E., Harris, R. P., and Irigoien, X. 2006. Latitudinal variation in plankton size spectra in the Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research II*, 53, 1660-1572.

- Sheldon, R. W., Prakash A., Sutcliffe, W. H., 1972. The size distribution of particles in the ocean. *Limnol. Oceanogr.* V. 17 (3).
- Sheldon, R. W., Sutcliffe, W. H. and Paranjape, M. A. (1977) Structure of the pelagic food chain and the relationship between plankton and fish production. *J. Fish. Res. Board Can.*, 34, 2344–2353.
- Silvert, W. and Platt, T. (1978) Energy flux in the pelagic ecosystem: a time-dependent equation. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 813–816.
- Sourisseau, M., and Carlotti, F. 2006. Spatial distribution of zooplankton size spectra on the French continental shelf of the Bay of Biscay during spring 2000 and 2001. *Journal of Geophysical Research*, 111, 1-12.
- Schultes, S and Lopes, R. M. 2009. Laser Optical Plankton Counter and ZooScan intercomparison in tropical and subtropical marine ecosystems. *Limnology and Oceanography: Methods*. 7, 771-784.
- Sprules, W. G., and Munawar, M. 1986. Plankton size spectra in relation to ecosystem productivity, size, and perturbation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43, 1789-1794.
- White, E. P., Morgan, S. K., Kerkhoff, A. J. et al. (2007) Relationships between body size and abundance in ecology. *Trends Ecol. Evol.*, 22, 323–330
- Zuta, S., Guillen, O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Instituto del Mar del Perú. Vol.2, N°5, 157-324.

Zhou, M. 2006. What determines the slope of a plankton biomass spectrum? *Journal of Plankton Research*, 28,437-448.

Zhou, M., and M. E. Huntley (1997), Population dynamics theory of plankton based on biomass spectra, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 159, 61-73.

ANEXOS

Fig. 1. Viñetas de mesozooplankton proporcionados por el Zooscan. Notése las diversas posiciones que adoptan los organismo en la celda del escáner. Ebv: biovolumen elipsoidal.

